

Einsatzmöglichkeiten von Computern zur Vorbereitung wirtschaftspolitischer Entscheidungen - dargestellt an makroökonomischen Simulationsstudien

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft durch den Fachbereich
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Westfälischen
Wilhelms-Universität zu Münster

vorgelegt von
Jürgen Schinnerling
aus Zwickau

1972

Entwicklungsmöglichkeiten von Computern zur Vorbereitung
wirtschaftspolitischer Entscheidungen - dargestellt
an makroökonomischen Simulationsstudien

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554802_0058

Einsatzmöglichkeiten von Computern zur Vorbereitung wirtschaftspolitischer Entscheidungen - dargestellt an makroökonomischen Simulationsstudien

Inaugural – Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaft durch den Fachbereich
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften der Westfälischen
Wilhelms-Universität zu Münster



vorgelegt von
Jürgen Schinnerling
aus Zwickau
1972

Einsatzmöglichkeit der Vorlesung
Wirtschaftspolitische Entscheidungen - das Gesetz
an makroökonomischen Fundamenten

In der Zeit der Wirtschaftskrise
und Erlangung der politischen Macht durch Hitler
ist die Wirtschaftspolitik ein zentraler
Kontext der Auseinandersetzung um die
Führung der deutschen Nation



Original
Papier
aus
Leiden
1972

Erster Berichterstatter: Prof. Dr. H.K. Schneider
Zweiter Berichterstatter: Prof. Dr. Josef Bley Müller
Dekan: Prof. Dr. Joachim Schumann
Tag der mündlichen Prüfung: 3. Mai 1972

G l i e d e r u n g

Seite

Zur Einführung	1
1. Der multidimensionale Charakter wirtschaftspolitischer Entscheidungen	2
2. Allgemeine Strukturmerkmale eines mathematisch-ökonomischen Modells	3
2.1 Modellkomponenten	3
2.2 Dynamische Aspekte	6
2.21 Abbildungen von Zeitstrukturen	6
2.211 Diskontinuierliche Verzögerungen	8
2.212 Kontinuierliche Verzögerungen	10
2.22 Zeitpfade von verzögerten Variablen	14
2.221 Diskrete Übergangsfunktionen	14
2.222 Stetige Übergangsfunktionen	17
2.223 Realistische Anpassungsvorgänge	19
2.3 Modellabgrenzung	22
3. Grenzen analytischer Lösungstechnik - dargestellt am dynamischen Multiplikator-Akzelerator-Modell mit staatlicher Stabilisierungspolitik	24
3.1 Modell ohne staatliche Aktivität	24
3.11 Methode der Systemreduktion	25
3.12 Analytische Lösungsinterpretation	26
3.2 Einbeziehung staatlicher Stabilisierungsmaßnahmen	28
3.21 Ziele des Programms	28
3.22 Proportionalpolitik	31
3.23 Integral- und Differentialpolitik	33
3.24 Problematik genereller Lösungen	34
3.3 Schwächen linearer dynamischer Modelle	36

	<u>Seite</u>
4. Die Methode der Computer-Simulation komplexer, nicht-linearer Systeme	38
4.1 Besondere Merkmale des Computer-Modells	38
4.11 Nichtlineare Verhaltensfunktionen	38
4.12 Komplexe Modellstruktur	41
4.2 Simulationen als Lösungsverfahren	43
4.3 Alternativen der technischen Realisierung von Simulationen	46
4.31 Analog-Simulation	47
4.32 Digital-Simulation	50
4.321 Funktionsweise des Digitalcomputers	50
4.322 Aspekte der Programmierung	52
4.3221 Allgemeine Charakterisierung	52
4.3222 Rekursives Schema	53
4.3223 Problemorientierte DYNAMO-Sprache	55
4.3224 Vorteile der DYNAMO-Formulierung	57
4.4 Methodik des Experimentierens und Auswertens	59
4.41 Abstimmung der Teilsysteme zum Gesamtsystem	59
4.42 Alternative Fragestellungen	61
4.43 Formen von Experimenten	64
4.44 Auswertung generierter Zeitreihen	66
5. Experimentelle Erprobung wirtschaftspolitischer Programme	70
5.1 Wirtschaftspolitische Problemstellung	70
5.2 Konkrete langfristige Programme	72
5.21 Voraussetzungen konkreter Programme	72
5.22 Beispiel eines Industrialisierungsplanes	74
5.23 Mängel der exogenen Formulierung	75

	<u>Seite</u>
5.3 Programmiererweiterung: Flexible Eingriffsregeln	77
5.31 Informationelle Rückkoppelung	77
5.311 Interventionspunkte	77
5.312 Wiederanpassungsaktionen	78
5.313 Entscheidungsperiode	81
5.32 Nachbildung des Entscheidungsvorganges	82
5.4 'Strategische' Programme durch Sensibilitätsanalysen	83
5.41 Experimentelle Variationen	83
5.411 Programmparameter	84
5.412 Systembedingungen	86
5.42 Strategische Gesichtspunkte	88
5.5 Empirische Überprüfung von Programmen	90
5.51 Schwierigkeiten des Zeitreihenvergleiches	90
5.52 Reproduktion von Systemcharakteristika	92
6. Struktur und Verhaltenscharakteristika des komplexen Systems eines Entwicklungslandes	94
6.1 Gegenstand der Modellstudien	94
6.2 Charakterisierung des Modells	97
6.21 Nachfragesituation	98
6.22 Angebotssituation	99
6.221 Kostendeterminiertes Angebot	99
6.222 Angebot bei Knappheit	103
6.23 Preise, Löhne, Profite	105
6.24 Kapazitätserweiterungen	107
6.25 Außenhandel	109
6.26 Investitionsregulierungen	111
6.261 Investitionslücke	112
6.262 Investitionsüberschuß	113

	<u>Seite</u>
6.27 Computermodellstrukturen	117
6.3 Auswertungen von Ergebnisreihen	120
6.31 Alternative Entwicklungspläne	120
6.311 Erläuterungen zur Auswertungstechnik	122
6.312 Interpretation der Resultate	125
6.313 Schlußfolgerungen	126
6.314 Offene Fragen	128
6.32 Lohnpolitische Studien	130
6.321 Variation des Lohnreaktionskoeffizienten	130
6.322 Globale Ergebnisse	132
6.323 Zeitreihenresultate	136
6.324 Lohnpolitische Problematik	139
Resümierende Schlußbetrachtung	140
Anhang	144
Literaturverzeichnis	145

ZUR EINFÜHRUNG

Erkenntnisse der modernen Naturwissenschaften beruhen wesentlich auf den Ergebnissen kontrollierter und wiederholbarer Experimente. Dem Wirtschaftswissenschaftler wie - politiker bleibt diese Erkenntnismethode weitgehend verschlossen, weil sich das Wohlergehen von Millionen Menschen nicht zum Experimentierfeld eignet.

Für den praktizierenden Wirtschaftspolitiker bedeutet dies, daß er Entscheidungen auf ein Konglomerat von persönlichen Erfahrungen, interpretierten historischen Ereignissen und ökonomischen Theorien, die wegen ihres ceteris - paribus - Charakters für die Beurteilung realistischer (und damit komplexer) Situationen nur bedingt brauchbar sind, stützen muß.

Inwieweit nun simulierte Experimente an makroökonomischen Modellen unter Verwendung der verfügbaren Elektronenrechner diese Lücke zu schließen imstande sind, inwieweit also Studien an wirklichkeitsnahen Nachbildungen von Wirtschaftssystemen die theoretischen Entscheidungsgrundlagen für die Wirtschaftspolitik verbessern können - mit diesem Fragenkreis befaßt sich die vorliegende Arbeit.

1. Der multidimensionale Charakter wirtschaftspolitischer Entscheidungen.

Wirtschaftspolitische Aktionen wirken auf ein komplexes Wirtschaftssystem. Die für Theoretiker wie Praktiker entscheidende Frage, welche alternativen Wirkungen verschiedene Instrumente, eingesetzt in unterschiedlichen Größenordnungen und zeitlichen Dosierungen, auslösen, läßt sich nur beantworten, wenn die wesentlichen Verhaltenscharakteristika des Wirtschaftssystems bekannt sind. Dieses Systemverhalten ist die Resultante aus einer sehr großen Anzahl individueller Aktionen und Reaktionen, die sich in vielfältiger Weise wechselseitig beeinflussen.

Durch wirtschaftspolitische Maßnahmen werden die Daten, an denen die Wirtschaftssubjekte ihre Dispositionen orientieren, bewußt verändert. In der Folgezeit finden zahlreiche individuelle Anpassungsvorgänge an die nach staatlichem Kalkül geänderte Umwelt statt. Folglich sollte der Politiker, um eine gewünschte Korrektur des Wirtschaftsablaufes erreichen zu können, die typischen Eigenschaften dieses umfassenden Anpassungsprozesses kennen und vorhersehen, denn nur dann kann er die zur Korrektur erforderlichen Mittel in effizienter Weise einsetzen.

Wichtige Fragen dabei sind, mit welcher Intensität bzw. mit welcher Trägheit sich die Wirtschaftseinheiten an neue Daten anpassen. Die Erwartung stark verzögerter Reaktionen verlangt eine andere Mitteldosierung als die Annahme spontan einsetzender Anpassungsvorgänge. Da zudem die Millionen Einzelpläne eines Wirtschaftssystems wechselseitig

voneinander abhängen, lösen Eingriffe, die in eine bestimmte Richtung zielen, vielgestaltige Seiten- und Rückwirkungen aus, die die angestrebte Zielverwirklichung beeinträchtigen oder verstärken können. Nebenwirkungen beeinflussen auch die Realisierungsgrade anderer Ziele, die mithin in Konkurrenz- oder Komplementärbeziehung zum Primärziel treten.¹⁾ Zu berücksichtigen ist weiterhin, welche Modifikationen die Reaktionserwartungen über einen längeren Zeitraum erfahren. Die kurzfristigen Wirkungen, die aus einer nur unvollständigen Anpassung resultieren, weichen oft erheblich von den längerfristigen ab, ja sie können ihnen entgegengesetzt sein.

Schon diese skizzenhaften Bemerkungen verdeutlichen, daß Ziele und Mittel der Wirtschaftspolitik nicht isoliert, sondern nur im Rahmen eines umfassenden Ziel-Mittel-Systems geplant werden können. An die Stelle der teleologischen Analyse einzelner Ziel-Mittel-Relationen²⁾ muß folglich die Beobachtung aller Ziele und Mittel gemeinsam in ihren interdependenten Zusammenhängen zueinander und zum Wirtschaftssystem treten.

2. Allgemeine Strukturmerkmale eines mathematisch-ökonomischen Modells

2.1 Modellkomponenten

Um komplexe Wirkungszusammenhänge in allen Verästelungen, Verflechtungen und zeitlichen Dimensionen vollständig

1) Vgl. Giersch, Herbert, "Allgemeine Wirtschaftspolitik", Wiesbaden 1961, S. 51 ff.

2) Vgl. Giersch, Herbert a. a. O. S. 53.

und exakt beschreiben zu können, bedarf es eines präziseren Mediums als der verbalen Sprache. Aus diesem Grunde bedient sich der Analytiker des Wirtschaftssystems der mathematischen Darstellung. Er konstruiert ein abstraktes Modell des realen Systems in mathematischen Symbolen. Mit der Abbildung der Elemente und Beziehungen des Realsystems auf eine mathematische Struktur schafft er die Voraussetzungen für vollständige Lösungen oder für Operationen am nachgebildeten System, deren Ergebnisse durch Rückanwendung auf das Realsystem Aufschlüsse über dessen Verhaltenscharakteristika geben können.

Das Kernstück des mathematisch - ökonomischen Modells bilden Funktionsgleichungen, die auf empirisch beobachtbaren Verhaltensweisen der Wirtschaftseinheiten basieren. Makroökonomische Modelle zeichnen sich dadurch aus, daß Millionen individueller Verhaltensmerkmale zu einer begrenzten und damit handhabbaren Anzahl typischer Verhaltensmuster zusammengefaßt und in den Funktionsgleichungen abgebildet werden.

Elemente dieser Funktionsgleichungen sind Variable und Parameter. Die Variablen verkörpern statistisch meßbare ökonomische Größen, in denen sich die aggregierten Verhaltensbeziehungen des Realsystems (etwa als funktionale Relation zwischen Konsumausgaben und verfügbaren Einkommen aller Haushalte des betrachteten Wirtschaftssystems) buchhalterisch niederschlagen. Art und Grad der Verhaltensbeziehungen drücken Parameter (wie die aggregierte marginale Konsumneigung) aus.

Die Gesichtspunkte, nach denen Wirtschaftseinheiten zu Gruppen und somit ihre individuellen Aktivitäten zu einem repräsentativen Durchschnittsverhalten komprimiert werden, richten sich nach dem 'wovon' und 'wozu' des Modells.

Um den ökonomischen Wachstumsprozess eines Entwicklungslandes sichtbar zu machen, hätte man das Wirtschaftssystem in - beispielweise - andere Sektoren zu gliedern, als dies bei gleicher Fragestellung für ein hochindustrialisiertes Land geschehen müßte. Andererseits variiert man - zweckentsprechend - das Modell mit der Art der Problemstellung. Man betrachtet gleichsam den interessierenden Ausschnitt aus dem Realsystem in der Vergrößerung und begnügt sich bei den umgebenden Systemteilen mit den Konturen, damit das Modell übersichtlich und handhabbar bleibt. ¹⁾

Es gibt folglich nicht das Modell eines bestimmten Wirtschaftssystems schlechthin, sondern sehr viele mögliche Modelle, von denen - charakterisiert durch die spezifischen Auslassungen und Aggregationen - das der Fragestellung angemessene Modell gebildet wird.

Die Verhaltensgleichungen, ergänzt um Beziehungen definitorischen Charakters, bilden die - zunächst statische - Struktur des mathematisch- ökonomischen Modells.

1) Tinbergen bezeichnet diesen Modelltyp als 'Brennpunktmodell' ('focusing model' in der englischsprachigen Originalausgabe). Vgl. Tinbergen, Jan, "Wirtschaftspolitik", Freiburg 1968, S. 90 f. Holland spricht in diesem Zusammenhang von einem 'zoom model', vgl. Holland, Edward P. with Gillespie, Robert W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Massachusetts, 1963, S. 234 f.

2.2 Dynamische Aspekte

2.21 Abbildungen von Zeitstrukturen

Der Faktor 'Zeit' spielt in einem realen Wirtschaftssystem eine wesentliche Rolle. Die Anpassung der Einzelpläne an geänderte Daten ist ein Vorgang, der sich über einen gewissen Zeitraum erstreckt. Zeit vergeht, bis die Wirtschaftseinheiten über Art und Ausmaß von Datenänderungen informiert sind. Daraus abgeleitete Dispositionen werden nicht unverzüglich, sondern mit Verzögerungen getroffen. Die Auswirkungen der nachfolgenden Anpassungsaktivitäten wiederum können sich über eine Zeitspanne erstrecken, insbesondere dann, wenn technisch bedingte Verzögerungen (z.B. bei Kapazitätserweiterungen) unmittelbare Reaktionen verhindern.

Eine ähnliche Zeitstruktur weisen auch die Aktivitäten staatlicher Organe auf. Betrachtet man den Komplex von "Eingriffen", d. h. von Maßnahmen, die Abweichungen zwischen dem tatsächlichen (Ist-) und dem gewünschten (Soll-) Zustand der Wirtschaft korrigieren sollen, dann werden die Verzögerungen informatorischer Art, die jeder Statistik über den Zustand der Wirtschaft innewohnen, noch um institutionelle Verzögerungen, die staatliches Handeln kennzeichnen, erweitert.

Mit Einbeziehung der Zeitkomponente ins mathematisch - ökonomische Modell nimmt dieses dynamischen Charakter an. Sämtliche Variablenwerte, mit der zusätzlichen Dimension 'Zeit' versehen, beziehen sich auf bestimmte Zeitpunkte oder - perioden des Zeitraumes, über den sich der nachge-

bildete Wirtschaftsablauf erstreckt. Durch Verknüpfung von Variablen unterschiedlicher Zeitabschnitte in ein und derselben Verhaltensgleichung lassen sich im Modell Anpassungsprozesse an - der jeweiligen Datenkonstellation entsprechende - Gleichgewichtslagen nachvollziehen, die wiederum von neuen, durch Störungen 'von außen' hervorgerufenen, Anpassungsvorgängen überlagert werden können.

In alternativer Weise kann die Zeitkomponente ins Modell eingeführt werden: in diskontinuierlicher oder kontinuierlicher Form. Bei diskontinuierlicher Betrachtung des modellierten Wirtschaftsablaufes zerlegt man die Zeit in diskrete Perioden konstanter Länge. Jedem Wert einer Variablen ist dann jeweils eine bestimmte Periode zugeordnet. Während des Ablaufes einer Periode kann sich dieser Wert annahmegemäß nicht ändern, sondern lediglich zu Beginn einer Periode. Das impliziert die Annahme, daß sämtliche Wirtschaftseinheiten in gleichen Abständen und im selben Zeitpunkt ihre Pläne aufstellen bzw. revidieren. Die funktionalen Beziehungen im Modell nehmen- vorausgesetzt, daß sich die verknüpften Variablen auf verschiedene Perioden beziehen - die mathematische Gestalt von Differenzgleichungen an.

Bei Anwendung der zweiten Alternative, der kontinuierlichen Betrachtung, können sich die Variablenwerte stetig im Zeitablauf ändern. Mit der impliziten Annahme kontinuierlicher Planrevisionen lassen sich die Variablen als stetige Funktionen der Zeit darstellen. Die Funktionsgleichungen werden zu Differentialgleichungen.

2.211 Diskontinuierliche Verzögerungen

Die Dynamik makroökonomischer Modelle basiert auf Verzögerungsstrukturen.¹⁾ Zur Erklärung alternativer Verzögerungsformen sei von einer - zunächst vom interdependenten Modell isolierten - Verhaltensbeziehung zwischen 2 Variablen Y und Z ausgegangen. Dabei möge z. B. Z die gesamtwirtschaftliche Nachfrage, Y das darauf reagierende Angebot der Wirtschaft repräsentieren.

Eine sehr allgemeine Verzögerungsstruktur diskontinuierlicher Art liegt vor, wenn (das Angebot) Y der Periode t von (der Nachfrage) Z beliebig vieler vergangener Perioden abhängt.

$$(1) \quad Y_t = \lambda_1 Z_{t-1} + \lambda_2 Z_{t-2} + \lambda_3 Z_{t-3} + \dots$$

$$\text{mit} \quad \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots = 1.$$

Die Koeffizienten $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ dieser sogenannten gestreuten Verzögerung ('distributed lag') verkörpern die relativen Gewichte, die den Z-Werten vergangener Perioden bezüglich ihres Einflusses auf den Y-Wert der Gegenwartsperiode zugemessen werden.

Mit $\lambda_1 = 1$, alle übrigen $\lambda_{i \neq 1} = 0$ (oder allgemein: $\lambda_T = 1$; $\lambda_{i \neq T} = 0$) leitet sich daraus der Spezialfall einer starren Verzögerung ('pipeline delay') von 1 (bzw. T) Perioden Länge ab,

1) Zu diesem und dem folgenden Abschnitt vergleiche Allen, R. G. D., " Mathematical Economics", Second Edition, Reprinted 1966, London etc./ New York, S. 23 ff., sowie Allen, R. G. D. "Macro - Economic Theory", First Edition, Reprinted 1968, London etc./ New York, S. 86 ff.

$$(2) \quad Y_t = Z_{t-1} \quad \text{bzw.} \quad Y_t = Z_{t-T} ,$$

der dadurch charakterisiert ist, daß der Gegenwartswert von Y ausschließlich vom 1 (bzw. T) Perioden zurückliegenden Z -Wert abhängt, während der Einfluß aller übrigen Z -Werte vergangener Perioden gleich Null ist.

Eine weitere, für makroökonomische Modelle besonders geeignete Spezialform der gestreuten Verzögerung gewinnt man, wenn man die Gewichte der Z -Werte mit zunehmender Entfernung von der Gegenwart sukzessive um einen konstanten Prozentsatz r verringert. Damit sich die Summe der Gewichte auf 100 % beläuft, muß

$$(3) \quad \lambda(1+r+r^2+\dots)=1$$

sein. Bei unbegrenzter Anzahl vergangener Perioden ergibt die konvergierende geometrische Reihe (3)

$$\frac{\lambda}{1-r} = 1 \quad \text{und somit} \quad r = 1 - \lambda .$$

Die geometrische Version der gestreuten Verzögerung lautet demnach:

$$(4) \quad Y_t = \lambda[Z_{t-1} + (1-\lambda)Z_{t-2} + (1-\lambda)^2Z_{t-3} + \dots]$$

mit $(0 < \lambda < 1)$.

Formuliert man (4) außerdem für Y_{t+1} und bildet

$\Delta Y_t = Y_{t+1} - Y_t$, gewinnt man die leichter zu handhabende Differenzengleichung

$$(5) \quad \Delta Y_t = \lambda(Z_t - Y_t) \quad \text{bzw.} \quad Y_t = \frac{\lambda}{\Delta + \lambda} Z_t ;$$

wobei die rechts stehende Notierung von Δ als Differenzenoperator sich für mathematische Operationen als besonders zweckmäßig erweist.

Die links stehende Schreibweise von (5) verdeutlicht die Struktur dieser Verzögerungsform. Je größer die Lücke zwischen Z und dem nachhinkenden Y in einer Periode noch ist, desto größer ist auch die Korrektur von $Y(\Delta Y_t)$, die in der betreffenden Periode zur Schließung dieser Lücke vorgenommen wird. Die Proportionalitätskonstante λ drückt die Intensität dieses Anpassungsprozesses aus.

2.212 Kontinuierliche Verzögerungen

In kontinuierlicher Formulierung lautet die allgemeine Form einer gestreuten Verzögerung

$$(6) \quad Y(t) = \int_0^{\infty} f(\tau) Z(t-\tau) d\tau \quad \text{mit} \quad \int_0^{\infty} f(\tau) d\tau = 1.$$

Verglichen mit der entsprechenden diskontinuierlichen Beziehung (1), sind die Gewichtungskoeffizienten der Perioden durch eine kontinuierliche Gewichtsfunktion $f(\tau)$ und die Summe der gewichteten Vergangenheitswerte von Z durch das Integral ersetzt. Somit hängt der sich stetig im Zeitablauf ändernde Funktionswert Y von den Z-Werten der gesamten kontinuierlich vergangenen Zeit ab. Die Gewichtsfunktion ('weighting function') mißt den Werten der Variablen Z, die die Zeitspanne τ zurückliegen, das Einflußgewicht auf den Gegenwartswert von Y zu. Der Spezialfall der starren Verzögerung wird in Analogie zu (2) gebildet.

$$(7) \quad Y(t) = Z(t-T)^{1)}.$$

Die kontinuierliche Version der geometrischen Verzögerung erlaubt man - analog zum diskontinuierlichen geometrischen 'Lag' - durch stetige Verringerung der Gewichtung $r = 1 - \lambda$, je weiter die Werte der Variablen Z in die Vergangenheit zurückreichen. Dieser Bedingung genügt die Funktion

$$(8) \quad Y(t) = \lambda \int_0^{\infty} e^{-\lambda \tau} Z(t-\tau) d\tau.$$

Wegen des Exponentialcharakters der zugrundeliegenden Gewichtsfunktion

$$(9) \quad f(\tau) = \lambda e^{-\lambda \tau},$$

die die Zeitstruktur (time form) der Verzögerung ausdrückt, bezeichnet man diese Verzögerungsform als Exponentialverzögerung. Für die Formulierung kontinuierlicher dynamischer Modelle kommt ihr große Bedeutung zu.

Da Integralausdrücke in mathematischen Modellen schwerer handhabbar sind als Differentialterme, wandelt man Beziehung (8) in eine Differentialgleichung um. Das erreicht man in diesem Falle am einfachsten durch Transformation der Integrationsvariablen von τ zu $x = t - \tau$. Aus (8) wird so:

$$(10) \quad Y(t) = -\lambda \int_t^{\infty} e^{-\lambda(t-x)} Z(x) dx = \lambda e^{-\lambda t} \int_{-\infty}^t e^{\lambda x} Z(x) dx.$$

1) Im Gegensatz zum entsprechenden diskontinuierlichen Fall braucht T nicht ganzzahlig zu sein, weil keine Periodenanzahl ausgedrückt wird.

Multiplikation beider Seiten mit $e^{\lambda t}$ und anschließende Differentiation nach t ergibt:

$$\frac{dY}{dt} e^{\lambda t} + \lambda Y e^{\lambda t} = \lambda \frac{d}{dt} \int_{-\infty}^t e^{\lambda x} Z(x) dx = \lambda e^{\lambda t} Z(t).$$

Nach Division der Gleichung durch $e^{\lambda t}$ ist:

$$(11) \quad \frac{dY}{dt} = \lambda(Z - Y) \quad \text{bzw.} \quad Y = \frac{\lambda}{D + \lambda} Z$$

in Notierung mit dem Differentialoperator $D = \frac{d}{dt}$.

In den Formen (11) wird die Exponentialverzögerung üblicherweise notiert. Die Ähnlichkeit mit der diskontinuierlichen Version der geometrischen Verzögerung (5) ist offensichtlich. Mit $\Delta t \rightarrow 0$ entsteht (11) aus (5). Die Differentialform läßt sich analog zur Differenzenform interpretieren. In jedem Zeitpunkt ist die kontinuierliche Änderungsrate $\frac{dY}{dt}$ der durch die Verzögerung entstandenen und noch zu überbrückenden Kluft zwischen Z und Y direkt proportional.

Einer Interpretation bedarf der konstante Parameter λ . Je größer λ ist, desto größer ist auch die Änderungsrate der verzögerten Variablen in jedem Augenblick, desto schneller läuft mithin der Anpassungsvorgang (an Z) ab. Zeigt λ somit den Reaktionsgrad an, mißt der reziproke Wert $T = \frac{1}{\lambda}$, Zeitkonstante der Verzögerung genannt, die durchschnittliche Dauer des Anpassungsprozesses. Beide Parameter werden alternativ verwendet.

Neben der einfachen Exponentialverzögerung spielen mehrfach hintereinandergeschaltete Exponentialverzögerungen eine Rolle. So drückt die Differentialgleichung 2. Ordnung

$$(12) \quad T^2 \frac{d^2 Y}{dt^2} + 4T \frac{dY}{dt} + 4Y = 4Z$$

die zweifache Exponentialverzögerung von Y gegenüber Z unter der vereinfachenden Annahme aus, daß jede Verzögerungsstufe eine Länge (Zeitkonstante) von $\frac{1}{2}T$ und damit die Gesamtverzögerung wiederum eine Dauer von T Zeiteinheiten aufweist.

Die Gleichartigkeit der beiden sukzessiven Phasen verdeutlicht die Notierung von (12) in Operatorenschreibweise ($\frac{dY}{dt} = DY$; $\frac{d^2 Y}{dt^2} = D^2 Y$):

$$(12a) \quad Y = \left(\frac{1}{\frac{1}{2}TD + 1} \right) \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{2}TD + 1} \right) Z.$$

Analog dazu findet die dreifache Exponentialverzögerung, bei der die Variable Y drei hintereinandergeschaltete Verzögerungsstufen von jeweils $\frac{1}{3}T$ Zeiteinheiten Dauer durchläuft, ihren Niederschlag in einer Differentialgleichung 3.Ordnung:

$$(13) \quad Y = \left(\frac{1}{\frac{1}{3}TD + 1} \right)^3 Z.$$

2.22 Zeitpfade von verzögerten Variablen

In einer dynamischen Analyse interessieren vor allem Übergangsprozesse von einer Gleichgewichtssituation zur anderen. Der Gleichgewichtszustand selbst - Gegenstand statischer Betrachtungen - erscheint hier nur als Spezialfall, sei es als Ausgangsposition (im Zeitpunkt $t = 0$), um einen reinen, d. h. von vorhergehenden und noch nicht abgeschlossenen Anpassungsvorgängen isolierten Übergang verfolgen zu können, sei es als Endzustand ($t = \text{unendlich groß}$), dem dieser isolierte Anpassungsprozeß zustrebt. Daraus folgt, daß als dynamische Lösung von Beziehungen zwischen Variablen keine Zustandwerte, sondern Zeitpfade der sich an Datenänderungen anpassenden Variablen gesucht werden, Zeitpfade, die den Übergang beschreiben.

Für die in den vorhergehenden zwei Abschnitten betrachteten Beziehungen zwischen den Variablen Y (Angebot) und Z (Nachfrage) sei angenommen, daß Z im Zeitpunkt $t=0$ vom Gleichgewichtswert $Z = Y_0$ auf $Z = A$ ($A > Y_0$) springe und dort verharre. Wie reagiert nun Y auf diese Veränderung, wenn es alternativ den bereits erörterten Verzögerungsstrukturen unterliegt?

2.221 Diskrete Übergangsfunktionen

Im Falle der starren Verzögerung von T Perioden Länge ('pipeline delay'),

$$Y_t = Z_{t-T} \quad \text{bzw.} \quad Y(t) = Z(t-T),$$

ergibt sich der Übergangspfad von Y unmittelbar:

$$(14) \quad \begin{aligned} Y &= Y_0 \quad \text{für } 0 \leq t < T \\ Y &= A \quad \text{für } t \geq T. \end{aligned}$$

Eine Änderung von Z wirkt nach Verstreichen von T Perioden einmalig und in voller Höhe auf Y . (Zeitpfad I in Abbildung 1, s. unten).

Die Übergangsfunktion der geometrisch gestreuten, diskontinuierlichen Verzögerung

$$(15) \quad Y_t = \lambda [Z_{t-1} + (1-\lambda)Z_{t-2} + (1-\lambda)^2 Z_{t-3} + \dots]$$

kann durch Iteration der Y -Werte für $t = 0, 1, 2$ usw. bestimmt werden.

In Differenzen formuliert nimmt diese Verzögerungsform folgende Gestalt an:

$$(16) \quad \Delta Y_t = \lambda [\Delta Z_{t-1} + (1-\lambda)\Delta Z_{t-2} + (1-\lambda)^2 \Delta Z_{t-3} + \dots].$$

Berücksichtigt man, daß unter den oben gegebenen Voraussetzungen des Z -Sprungs von Y_0 auf A

$$\Delta Z_{(-1)} = Z_0 - Z_{(-1)} = A - Y_0 \quad \text{und} \quad \Delta Z_0 = \Delta Z_1 = \dots = 0 \quad \text{sind,}$$

so gewinnt man aus (16) durch Iteration:

$$\Delta Y_0 = \lambda \Delta Z_{(-1)} = \lambda (A - Y_0),$$

$$\text{somit} \quad Y_1 = Y_0 + \Delta Y_0 = Y_0 + \lambda (A - Y_0).$$

$$\Delta Y_1 = \lambda [\Delta Z_0 + (1-\lambda)\Delta Z_{(-1)}] = \lambda (1-\lambda)(A - Y_0),$$

$$\text{somit} \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y_1 = Y_0 + \lambda [1 + (1-\lambda)](A - Y_0).$$

$$\Delta Y_2 = \lambda (1-\lambda)^2 (A - Y_0),$$

$$\text{somit} \quad Y_3 = Y_2 + \Delta Y_2 = Y_0 + \lambda [1 + (1-\lambda) + (1-\lambda)^2](A - Y_0).$$

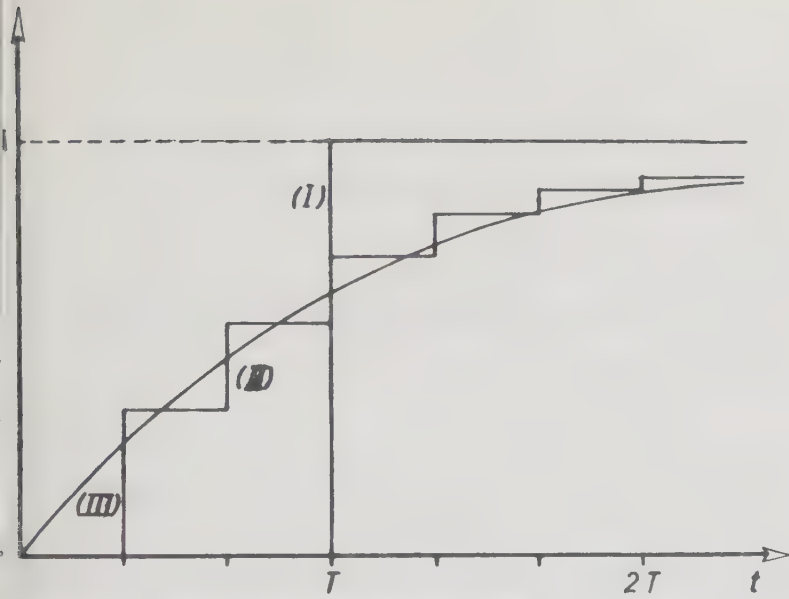


Abbildung 1 : Verschiedene Verzögerungsformen

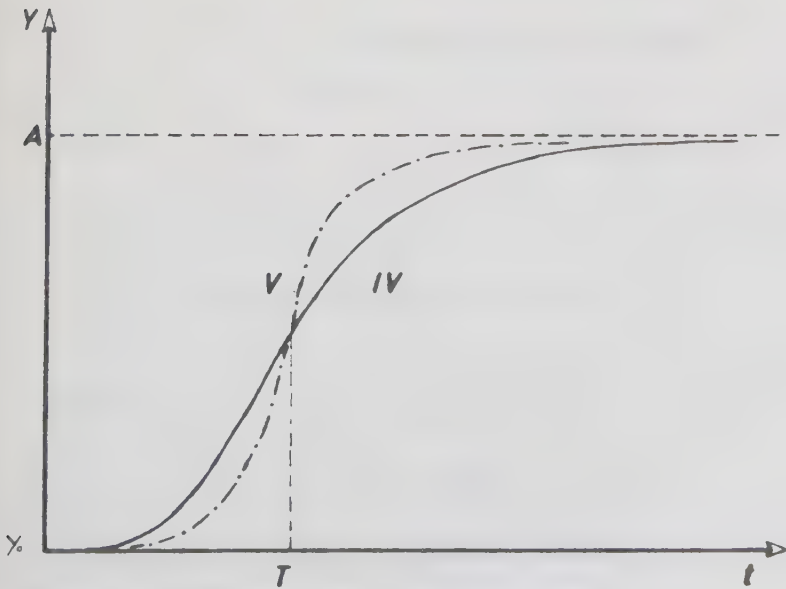


Abbildung 2 : Multiple Exponentialverzögerungen

⋮

$$\Delta Y_t = \lambda(1-\lambda)^t(A-Y_0),$$

somit $Y_t = Y_0 + \lambda[1 + (1-\lambda) + (1-\lambda)^2 + \dots + (1-\lambda)^{t-1}](A-Y_0).$

Als Summe einer endlichen geometrischen Reihe wird

$Y_t = Y_0 + [1 + (1-\lambda) + (1-\lambda)^2 + \dots + (1-\lambda)^{t-1}](A-Y_0)$, so daß der (verzögerte) Lösungspfad von Y_t geschrieben werden kann:

$$(17) \quad Y_t = A - (A - Y_0)(1-\lambda)^t.$$

Die Anpassung von Y an Z erfolgt in Stufen von Periode zu Periode (Zeitpfad II in Abbildung 1).

Zum gleichen Ergebnis wäre man durch Lösung der Differenzengleichung $\Delta Y_t = \lambda(Z_t - Y_t)$ mit $Z_t = A$ konstant unter der Anfangsbedingung Y_0 gelangt.

2.222 Stetige Übergangsfunktionen

Für die einfache Exponentialverzögerung

$$(18) \quad Y = \lambda \int_0^{\infty} e^{-\lambda \tau} Z(t-\tau) d\tau$$

gilt auf Grund der sprunghaften Veränderung von Z in $t = 0$:

$$Z(t-\tau) = Y_0 \text{ für } \tau > t; \quad Z(t-\tau) = A \text{ für } \tau \leq t.$$

Damit zerfällt der obige Integralterm in 2 Teilintegrale:

$$\begin{aligned} Y(t) &= \lambda \int_0^t e^{-\lambda \tau} A d\tau + \lambda \int_t^{\infty} e^{-\lambda \tau} Y_0 d\tau = \\ &= -A[e^{-\lambda \tau}]_0^t - Y_0[e^{-\lambda \tau}]_t^{\infty} = -Ae^{-\lambda t} + A + Y_0e^{-\lambda t}. \end{aligned}$$

Der Lösungspfad von Y_t ist somit

$$(19) \quad Y(t) = A - (A - Y_0)e^{-\lambda t}.$$

Die Anpassung verläuft kontinuierlich in der Zeit (Zeitpfad III in Abbildung 1). Auch hier kommt man über die Lösung der - dem Integralausdruck (18) äquivalenten - Differentialgleichung $Y = \frac{1}{TD+1}Z$ mit $Z = A$ und der Anfangsbedingung $Y(0)$ zum selben Resultat.

Für die multiplen Verzögerungsformen sei wiederum die dreifache Exponentialverzögerung

$$(20) \quad Y = \left(\frac{1}{\frac{T}{3}D+1} \right)^3 Z \quad \text{mit } Z = A$$

exemplarisch gewählt, bei der Y die gleiche Verzögerungsphase dreimal hintereinander durchläuft, so daß bei unveränderter Verzögerungsdauer T auf jede Phase ein Drittel der Verzögerungszeit entfällt.

Eine Partikulärlösung der Differentialgleichung 3. Ordnung (20) ist:

$$(21) \quad Y = Z$$

Sie verkörpert den Endzustand, also den abgeschlossenen Anpassungsprozess. Subtrahiert man (21) von (20), erhält man die homogene Differentialgleichung:

$$(22) \quad \left(\frac{T}{3}D + 1 \right)^3 y = 0 \quad \text{wobei } y = Y - Z.$$

Die charakteristische (algebraische) Gleichung

$$(23) \quad T^3 p^3 + 9T^2 p^2 + 27Tp + 27 = 0$$

der homogenen Form (22) hat die Wurzeln

$$p_1 = p_2 = p_3 = -\frac{3}{T} - 3\lambda \text{ (mit } \lambda = \frac{1}{T} \text{)}.$$

Die vollständige Lösung von (20) - als Summe aus Partikulärintegral und allgemeiner Lösung der homogenen Gleichung - lautet demnach:

$$(24) \quad Y(t) = A + (B_1 + B_2 t + B_3 t^2) e^{-3\lambda t}.$$

Diese allgemeine Funktion für den Anpassungsprozeß von Y an Z enthält die willkürlichen Konstanten B_1 , B_2 und B_3 , die durch 3 geeignete Anfangsbedingungen für $Y(0)$, $DY(0)$ und $D^2 Y(0)$ spezifiziert werden können. Mit z. B. $Y(0) = Y_0$, $DY(0) = D^2 Y(0) = 0$ erhält man die besondere Lösungsfunktion:

$$(25) \quad Y(t) = A - (A - Y_0) \left(1 + 3\lambda t + 9\lambda^2 \frac{t^2}{2} \right) e^{-3\lambda t}.$$

Abbildung 2 veranschaulicht Übergänge für multiple Verzögerungen (Kurve IV = zweifache, Kurve V = dreifache Exponentialverzögerung).

2.223 Realistische Anpassungsvorgänge

Nicht nur die Einbeziehung einer Verzögerung als solcher in ein Modell, auch die Art oder Struktur der Verzögerung bestimmen wesentlich die Verhaltenscharakteristika des Systems. Der Zwang zur analytischen Lösbarkeit, dem Modellkonstrukteure oft ausgesetzt sind, äußert sich insbesondere in einer möglichst einfachen Gestaltung der Verzögerungsstrukturen, unabhängig davon, welche spezifische Form dem jeweiligen realen Anpassungsverhalten am besten entsprechen würde.

1) Man spricht in diesem Falle trotz des noch unbestimmten Y_0 von einer Partikulärlösung, weil die übrigen B-Parameter spezifiziert wurden.

Der Aspekt der Eignung einer Verzögerungsform für analytische Lösungen kann außer acht bleiben, sobald auch andere Lösungsverfahren, etwa Computersimulationen, in den Bereich des Möglichen rücken. Selbst eine sehr differenzierte Struktur kann dann ins Modell eingehen, wenn nur eine gewisse a-priori-Plausibilität die zugrundeliegende (und später zu verifizierende) Hypothese rechtfertigt. Bei Beantwortung der grundsätzlichen Frage, ob man kontinuierliche oder diskontinuierliche Verzögerungsstrukturen verwenden und damit das Modell in Differential - oder Differenzenformen oder in eine Mischform aus beiden kleiden soll, sind folgende Gesichtspunkte zu beachten. Ein makroökonomisches Modell aggregiert in einer Verhaltensbeziehung eine Vielzahl mehr oder weniger voneinander abweichender individueller Verhaltensweisen. Aggregierte Aktionen oder Reaktionen werden so zum Durchschnittsverhalten, dem die 'geglättete', kontinuierliche Anpassungsweise an Datenänderungen besser Rechnung trägt als ein streng im einheitlichen Periodentakt ablaufendes Entscheidungs- und Anpassungsverhalten, das seiner Natur nach eher einen mikroökonomischen Prozeß spiegelt.

Ob einfache oder mehrfache Exponentialverzögerungen geeigneter sind, kann anhand der spezifischen Übergangspfade (s. Abbildungen 1 und 2) beurteilt werden. Die für einfache Exponentialverzögerungen charakteristische Anpassungsaktivität - stärkste Reaktion zu Beginn, sozusagen simultan mit der auslösenden Störung, stetig abnehmende Reaktion mit fortschreitender Anpassung - ist

mit den meisten in der Realität beobachtbaren aggregierten Anpassungsvorgängen nur schwer vereinbar. Dagegen erscheinen die multiplen Exponentialstrukturen mit ihrer fast unmerklichen Reaktion zu Beginn, dem Reaktionsschwerpunkt in der Mitte des Prozesses und dem allmählichen Ausklingen der Reaktion für eine 'repräsentative' (aggregierte) Anpassung (mit schnell und langsam reagierenden Wirtschaftseinheiten) schon wesentlich realistischer.

Für nicht - analytische Lösungen können wirklichkeitsnahe Strukturen auch durch Kombinationen mehrerer Standardformen gebildet werden.

So ließe sich, um ein Beispiel zu geben, die aggregierte Reaktion der Produzenten von Frachtschiffen auf eine plötzliche Erhöhung der Frachtsätze durch die Kombination einer starren Periodenverzögerung, die die Produktionsmindestzeit für Frachtschiffe symbolisiert, und einer multiplen Exponentialverzögerung, die sozusagen die statistisch gestreute Reaktion nach Ablauf der Mindestzeit ausdrückt, repräsentieren. Die gestreute Reaktion könnte man als statistische Wahrscheinlichkeitsverteilung interpretieren, d. h., die Reaktionsdauer des einzelnen Produzenten ist ungewiß, nur für die Masse der Produzenten lassen sich die Reaktionscharakteristika angeben.

Abbildung 3 veranschaulicht diesen Anpassungsvorgang.

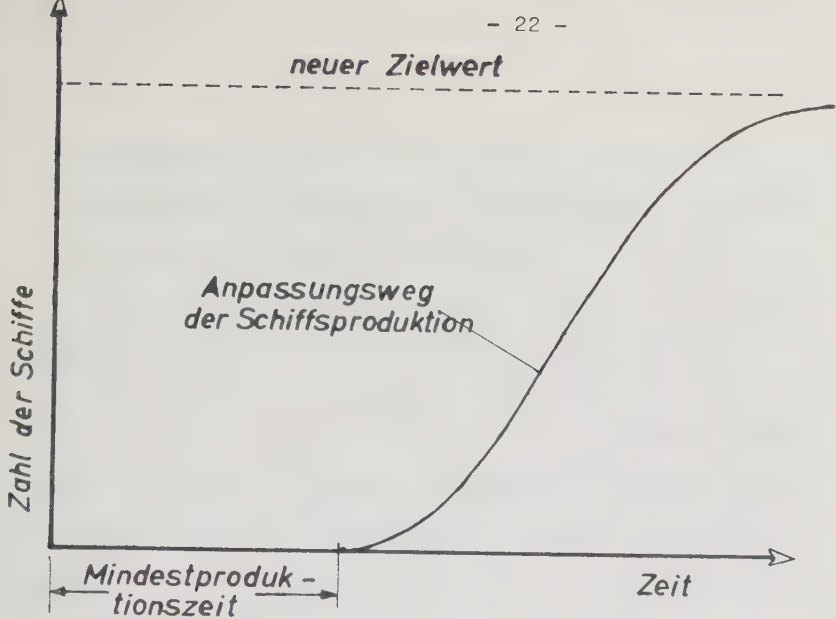


Abbildung 3: Zusammengesetzte Verzögerung

2.3 Modellabgrenzung

Die Modellvariablen zerfallen in zwei Gruppen, in endogene und exogene Variable. Jede endogene Variable wird durch eine Verhaltensfunktion (oder Identitätsbeziehung), also systemimmanent erklärt. Das interdependente Zusammenwirken aller Verhaltensfunktionen determiniert die dynamische Lösung des Modells.

Für exogene Variable fehlt die Erklärung durch das System. Sie wirken einseitig 'von außen' auf die Systemprozesse, ohne von irgendwelchen Rückwirkungen der immanenten Mechanismen beeinflusst zu werden.

Gründe für den exogenen Charakter von Variablen können darin zu suchen sein, daß der Realitätsbereich, dem sie entstammen, außerhalb des ökonomisch Erklärbaren liegt.

In solchen Fällen verkörpern sie gesamtwirtschaftliche Daten im Sinne von Eucken ¹⁾, wie Klima, Rechtsordnung, technische, soziale oder psychische Gegebenheiten.

Exogene Variable können aber auch durch eine individuell motivierte Modellabgrenzung entstehen, wenn Fragen der 'Handhabbarkeit' oder analytischen Lösbarkeit den Ausschlag geben.

Während für jede endogene Variable ein allgemeiner oder besonderer Lösungspfad in Termini der Daten und Parameter ermittelt werden kann ²⁾, sind für exogene Variable Zeitpfade vorgegeben - das ist der formale Unterschied zwischen beiden Gruppen von Variablen.

1) Vgl. Eucken, Walter, " Die Grundlagen der Nationalökonomie", 7. Aufl., Berlin 1959, S. 156 ff.

2) Dabei wird Konsistenz des Modells, also Übereinstimmung der Anzahl der endogenen Variablen mit der Anzahl der Strukturgleichungen vorausgesetzt.

3. Grenzen analytischer Lösungstechnik - dargestellt
am dynamischen Multiplikator - Akzelerator - Modell
mit staatlicher Stabilisierungspolitik

Die Eigenschaften des mathematisch - analytischen Lösungsverfahrens sollen an einem einfachen dynamischen Modell, das in der Folge um Stabilisierungsmaßnahmen erweitert wird, erläutert werden. ¹⁾ An den Grenzen dieser Lösungstechnik lassen sich Notwendigkeit und Ansatzpunkte eines grundlegend anderen Lösungsverfahrens, der Computer - Simulation erkennen.

3.1. Modell ohne staatliche Aktivität

Das Standardmodell hat folgende Struktur:

$$\begin{aligned} Z &= C + J \\ C &= (1 - s)Y \\ (1) \quad J &= \frac{1}{D+1} vDY \\ Y &= \frac{1}{TD+1} Z \end{aligned}$$

Dieses in kontinuierlichen Termini formulierte Modell enthält eine einfache Exponentialverzögerung

1) Die Ausführungen dieses Hauptabschnittes basieren auf den Arbeiten von Phillips, A. W., "Stabilisation Policy in a closed Economy", in: Economic Journal, 64, S. 290 - 323, sowie "Stabilisation Policy and the Time - Forms of Lagged Responses", in: "Economic Journal", 67, S. 265 - 277.

Außerdem wurden hinzugezogen: Allen R. G. D. "Mathematical Economics", Second Edition, Reprinted 1966, London etc./New York, S. 262 ff. sowie Allen, R. G. D., "Macro - Economic Theory", First Edition, Reprinted 1968 London, etc./New York, S. 328 - 333 und Chapter 18.

zwischen Ausgaben (Z) und Produktion bzw. Einkommen Y (Lundberg'sches 'Lag'). Die Ausgabenkomponente Konsum (C) hängt simultan vom Einkommen Y, die Ausgabenkomponente Investition (I) hängt exponentiell verzögert von der Einkommensänderung DY ab. Um die Zahl der Parameter so klein wie möglich zu halten, wurde die Zeitkonstante der Investitionsverzögerung gleich 1 gesetzt (und entsprechend die Parameter T und v relativ dazu ausgedrückt). Die endogenen Variablen Z, C, I, Y werden in 4 Strukturbeziehungen durch die Strukturparameter s (marginale Sparneigung), v (Akzelerator, bezogen auf die durch das Investitions-Lag markierte Periode) und T (Zeitkonstante des Produktions - Lags , relativ zum Investitions - Lag) erklärt. Exogene Variable enthält das Modell nicht, da zunächst nur die der Systemstruktur innewohnenden zeitlichen Veränderungen der Variablen erklärt werden sollen.

3.11 Methode der Systemreduktion

Nach 'klassischer' Lösungsmethode reduziert man das Modell auf eine einzige Gleichung in einer ausgewählten Variablen, wozu sich wegen seiner ökonomischen Bedeutung das Einkommen Y eignet. Dieses Verfahren führt zur homogenen Differentialgleichung zweiter Ordnung

$$(2) \quad T D^2 Y - (v - s - T) D Y + s Y = 0,$$

deren (algebraische) charakteristische Gleichung

$$(3) \quad T p^2 - (v - s - T) p + s = 0$$

die Wurzeln

$$(4) \quad p_1, p_2 = \frac{v-s-T \pm \sqrt{(v-s-T)^2 - 4sT}}{2T}$$

zur Lösung hat.

Aus den Koeffizienten von (3) ergibt sich:

$$(5) \quad p_1 + p_2 = \frac{v-s-T}{T} \quad \text{und} \quad p_1 \cdot p_2 = \frac{s}{T} > 0 .$$

Die Lösungsfunktionen für Y (t) lautet:

$$(6) \quad Y = B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t}.$$

mit den in (4) gefundenen Werten für p_1 und p_2 . Welchen spezifischen Zeitpfad die Variable Y einschlägt, hängt von p_1 und p_2 und damit nach Beziehung (4) von den Strukturparametern v , s und T ab.

3.12 Analytische Lösungsinterpretation

In der folgenden Lösungsanalyse werden die Bedingungen für den Parameter v - aufgrund seiner Doppelfunktion als Akzelerator und reziprokes Maß der wichtigen Zeitkonstanten der Investitionsverzögerung - in Termini von T und s ausgedrückt.

a.) Bedingung für reelle Wurzeln: $(v-s-T)^2 \geq 4sT$;
daraus folgen:

entweder (Fall A):

oder (Fall B):

$$\begin{aligned} v-s-T &\geq 2\sqrt{sT} \\ v &\geq s + 2\sqrt{sT} + T \\ v &\geq (\sqrt{s} + \sqrt{T})^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -(v-s-T) &\geq 2\sqrt{sT} \\ v &\leq s - 2\sqrt{sT} + T \\ v &\leq (\sqrt{s} - \sqrt{T})^2 . \end{aligned}$$

Damit sind die 'extremen' Bereiche von v abgesteckt.

Für Fall A ergeben sich - unter Berücksichtigung von (5) - zwei positive Wurzeln. Ein relativ großes v (starker Akzelerator und (oder) kurzes Investitions-'Lag') führt zu stetigem Einkommenswachstum. Zwei negative Wurzeln im Falle B resultieren in einem stetig sinkenden Einkommenspfad, verursacht durch einen niedrigen v -Wert (schwacher Akzelerator, lange Investitionsverzögerung).

b.) Bedingung für komplexe Wurzeln:

Diese Bedingung ist im verbleibenden Zwischenbereich erfüllt, wo:

$$(\sqrt{s} - \sqrt{T})^2 < v < (\sqrt{s} + \sqrt{T})^2$$

Mittlere Werte für Akzelerator bzw. Investitionsverzögerung führen zu zyklischen Einkommenschwankungen. Nach Transformation der konjugiert komplexen Wurzeln ($p_1 p_2 = \alpha \pm i\omega$) in Polarkoordinaten lautet die Lösungsfunktion:

$$(7) \quad Y(t) = B e^{\alpha t} \cos(\omega t - \epsilon)$$

mit den durch geeignete Anfangsbedingungen zu bestimmenden Konstanten B (Anfangsamplitude) und ϵ (Phase). Die Parameter α (Dämpfungsfaktor) und $\frac{2\pi}{\omega}$ (Periode bzw. Länge eines Zyklus) leiten sich wie folgt aus den Strukturparametern ab:

$$(8) \quad \alpha = \frac{v - s - T}{2T} \quad \omega = \frac{1}{2T} \sqrt{4sT - (v - s - T)^2}$$

Ist $v > s + T$, mithin $\alpha > 0$, expandieren die Zyklen, ist $v < s + T$, also $\alpha < 0$, sind die Schwingungen gedämpft:

Die folgende Tabelle faßt die Ergebnisse zusammen:

v - Bereich	Einkommenspfad
$v \leq (\sqrt{s} - \sqrt{T})^2$	Stetiger Rückgang
$(\sqrt{s} - \sqrt{T})^2 < v < s + T$	Kontraktive Oszillationen
$v = s + T$	Gleichbleibende Oszillationen
$s + T < v < (\sqrt{s} + \sqrt{T})^2$	Expansive Oszillationen
$(\sqrt{s} + \sqrt{T})^2 \leq v$	Stetiges Wachstum

Diese Lösungsinterpretation in allgemeinen (algebraischen) Termini ließe sich fortsetzen. Zu untersuchen wäre, wie sich der Bereich der Einkommensoszillationen mit Vergrößerungen des 'output lags' (T) verlagert, welchen Einfluß die Länge der Investitionsverzögerung (ausgedrückt in v) auf die Länge der zyklischen Periode hat und vieles mehr. Doch da es im Rahmen dieser Arbeit nur auf die Demonstration der Möglichkeiten (und Grenzen) analytischer Lösungen ankommt, kann es mit den vorgebrachten Analysen sein Bewenden haben.

3.2 Einbeziehung staatlicher Stabilisierungsmaßnahmen

3.21 Ziele des Programms

In das Multiplikator - Akzelerator - Modell werden in diesem Abschnitt wirtschaftspolitische Maßnahmen einbezogen, die sich in variabler Weise an den 'inneren' Bewegungen des Systems orientieren, um stabilisierend auf die Systementwicklung zu wirken.

Zwei Ziele verfolgen die Eingriffe . Zum einen soll zyklischen Einkommensoszillationen, insbesondere wenn diese expandieren und damit zu unerwünschten,

wachsenden Schwankungen in der Kapazitäts - und Ressourcennutzung führen, entgegengewirkt werden. Den Ergebnissen des vorhergehenden Abschnitts entsprechend ist mit Einkommenszyklen bei 'realistischen' Annahmen über die Strukturparameter in einem relativ weiten 'Toleranzbereich' der Parameterwerte zu rechnen.

Zum anderen zielen die Stabilisierungsmaßnahmen auf Wiederanhebung eines durch äußere Einwirkungen reduzierten Einkommensniveaus. Dazu wird angenommen, daß im Zeitpunkt $t = 0$ das stationäre Ausgangsgleichgewicht des (in die Null-Ebene transformierten) Systems, $Y = 0$, durch eine exogene Störung aus dieser Gleichgewichtslage gebracht wird. Den Störfaktor repräsentiere ein Rückgang autonomer, d.h. einkommensunabhängiger, privater Ausgabenbestandteile (ohne Staatsausgaben), also $-A < 0$.

Die dadurch entstehende Lücke zwischen Ausgangslage, $Y = 0$, und dem neuen stationären Multiplikatorgleichgewicht, $Y = -\frac{A}{s}$, setzt in der Folgezeit, $t > 0$, die systemimmanenten Mechanismen in Gang, die je nach den Werten der Strukturparameter zu einer (oszillatorischen oder stetigen) Annäherung an das neue Gleichgewicht, $-\frac{A}{s}$, oder einer zunehmenden (oszillatorischen oder stetigen) Entfernung von ihm führen.

Durch Einbeziehung der exogenen Variablen A in die Ausgabengleichung,

$$Z = C + J + (-A),$$

wird unter Beibehaltung der übrigen Strukturgleichungen die allgemeine Lösung des Systems (1) um ein Partikulärintegral, $-\frac{A}{s}$, erweitert, so daß - bei Beschränkung auf den vor allem interessierenden oszillatorischen Lösungsbereich - anstelle von (7) die Lösungsfunktion

$$(9) \quad Y(t) = -\frac{A}{s} + Be^{\omega t} \cos(\omega t - \epsilon)$$

tritt, die den Anpassungsprozeß in allgemeinen Termini beschreibt. (Abbildung 4 verdeutlicht den Anpassungsvorgang für den Fall gemäßigt expandierender Einkommensoszillationen um $-\frac{A}{s}$.)

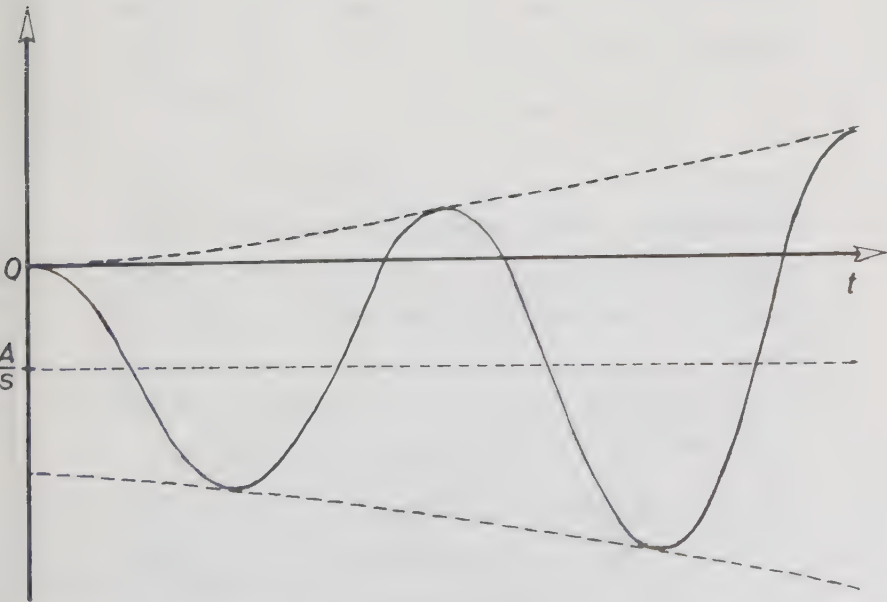


Abbildung 4 : Oszillative Einkommensexpansion

3.22 Proportionalpolitik

'Rückgekoppelte' ('feedback'-) Stabilisierungsmaßnahmen bringen eine Ausgabenkomponente endogener Art in das System, so daß

$$(10) \quad Z = C + J - A + G$$

ist. Die Variable G, die die 'antizyklischen' Staatsausgaben (ohne entsprechende Steuererhöhung) symbolisiert, sei in exponentiell verzögerter Form von der im folgenden zu formulierenden Stabilisierungspolitik P abhängig.

$$(11) \quad G = \frac{1}{\tau D + 1} P$$

Die erste politische Variante, die angewendet werden soll, ist auf die Wiederherstellung des ursprünglichen Einkommensniveaus, $Y = 0$, gerichtet.

$$(12) \quad P = f_p(-Y) \text{ mit } f_p > 0 \quad \text{und konstant.}$$

Man kann diese Politik als Proportionalverhalten kennzeichnen, weil die geplanten kompensatorischen Ausgaben eine konstante Proportion f_p der in jedem Augenblick vorhandenen Einkommenslücke $(-Y)$ ausmachen.

Mit Einbeziehung der Proportionalpolitik wird aus dem Standardmodell (1) das erweiterte Modell:

$$(13) \quad \begin{aligned} Z &= C + J + G - A \\ C &= (1-s)Y \\ J &= \frac{1}{D+1} vDY \\ G &= \frac{1}{\tau D+1} P \\ P &= f_p(-Y) \\ Y &= \frac{1}{TD+1} Z \end{aligned}$$

Reduziert man die Modellbedingungen auf die Y - Gleichung, so ist:

$$Y = \frac{1}{T\tau D+1} \left\{ (1-s)Y + \frac{1}{D+1} vDY - \frac{1}{\tau D+1} f_p Y - A \right\}$$

Nach Y aufgelöst, ergibt sich eine inhomogene Differentialgleichung 3. Ordnung:

$$(14) \quad T\tau D^3 Y + (T + T\tau + \tau s - \tau v)D^2 Y + \\ + (T + \tau s + s - v + f_p)DY + (s + f_p)Y = -A.$$

Eine allgemeine (algebraische) Lösung dieses reduzierten Systems ohne Spezifizierung wenigstens einiger der 5 Strukturparameter (s, v, T, τ , f_p) stößt auf praktisch - technische Schwierigkeiten, auf die später eingegangen wird.

Mit $D^3 Y = D^2 Y = D Y = 0$ ist jedoch aus (14) das dem System (13) entsprechende stationäre Gleichgewichtseinkommen

$$(15) \quad Y = -\frac{A}{s+f_p}$$

unmittelbar ersichtlich. Man erkennt, daß das Ziel der Proportionalpolitik, das durch autonomen Ausgabenrückgang auf $Y = -\frac{A}{s}$ gesunkene stationäre Niveau auf die Ausgangshöhe $Y = 0$ zurückzuführen, nur teilweise gelungen ist, denn:

$$-\frac{A}{s} < -\frac{A}{s+f_p} < 0.$$

Daraus leitet sich die Notwendigkeit einer zusätzlichen Stabilisierungskomponente ab.

3.23 Integral- und Differentialpolitik

Ergänzend zur proportionalen Ausgabenvariation trete deshalb eine Politik in Kraft, die in jedem Zeitpunkt die seit $t = 0$ entstandene kumulative Einkommenslücke gegenüber $Y = 0$ proportional korrigiert.

$$P = f_i \int_0^t (-Y) dt \quad f_i > 0 \text{ und konstant.}$$

Wird diese Variante zusätzlich auf System (13) angewandt, entsteht nach Systemreduktion die gemischte Integral - Differential - Gleichung :

$$\begin{aligned} (16) \quad & T\tau D^3 Y + (T + T\tau + \tau s - \tau v) D^2 Y + \\ & + (T + \tau s + s - v + f_p) D Y + (s + f_p) Y + A \\ & = -f_i (D+1) \int_0^t Y dt, \end{aligned}$$

die man zweckmäßig durch Differentiation nach der Zeit (Multiplikation mit dem Operator D) in eine homogene Differentialgleichung umwandelt. Damit verschwindet die Konstante A , das stationäre Gleichgewicht entspricht dem erstrebten $Y = 0$. Die integrale Stabilisierungspolitik ist also zur vollständigen Korrektur des Einkommensverlustes unumgänglich, sie leistet aber keinen Beitrag zur Realisierung des zweiten Zieles; im Gegenteil, es ist durchaus möglich (und sogar wahrscheinlich), daß die integrale Stabilisierungspolitik das erste Ziel auf Kosten wachsender Einkommensfluktuationen erfüllt. Das ruft 'flankierende Maßnahmen' auf den Plan, die sich in Form der differentialen Stabilisierungspolitik

$$(17) \quad P = f_d (-DY) \text{ mit } f_d > 0 \quad \text{und konstant}$$

anbieten. Diese dritte Variante reguliert die Höhe der Staatsausgaben nach dem Grad des Einkommensrückganges.

Die bei Anwendung aller drei politischen Komponenten entstehende - und zur Eliminierung des Integralterms differenzierte - Differentialgleichung

$$(18) \quad T\tau D^4 Y + (T + T\tau + \tau s - \tau v + f_d) D^3 Y + \\ + (T + \tau s + s - v + f_p + f_d) D^2 Y + (s + f_p + f_i) DY + f_i Y = 0$$

hat die Lösungsform

$$(19) \quad Y(t) = B_1 e^{p_1 t} + B_2 e^{p_2 t} + B_3 e^{p_3 t} + B_4 e^{p_4 t}$$

mit 4 beliebigen Konstanten B_1 , B_2 , B_3 und B_4 , die man zweckmäßig durch 4 geeignete Anfangsbedingungen für $Y(0)$, $DY(0)$, $D^2 Y(0)$ und $D^3 Y(0)$ bestimmt.

Die dämpfende Wirkung der differentialen Stabilisierungspolitik erkennt man aus der Bedingung

$$(20) \quad p_1 + p_2 + p_3 + p_4 = - \frac{T + T\tau + \tau s - \tau v + f_d}{T\tau},$$

der die Wurzeln der charakteristischen Gleichung von Differentialgleichung (18) unterliegen. Eine positive rechte Seite von (20) würde auf jeden Fall einen (stetig oder zyklisch) expandierenden Einkommenspfad bedeuten, der jedoch durch den f_d - Faktor abgeschwächt würde. Eine hinreichend intensive Differentialpolitik führt sogar immer zu einem gedämpften Pfad. ¹⁾

3.24 Problematik genereller Lösungen

Ökonomisch gesehen muß also die anfänglich allein an-

1) Ein negativer Ausdruck auf der rechten Seite von (20) ist eine notwendige, wenngleich nicht hinreichende Bedingung dafür.

gewandte proportionale Stabilitätspolitik um die integrale und differentiale Komponente ergänzt werden, damit sie erfolgreich einen Einkommensrückgang kompensieren und mögliche systemimmanente Fluktuationen verhindern, zumindest abschwächen kann. Mathematisch gesehen führt das auf ein einfaches Multiplikator - Akzelerator- System angewandte gemischte Stabilisierungsprogramm bereits zu einer linearen Differentialgleichung 4. Ordnung mit konstanten Koeffizienten.

Die Lösung dieser Gleichung kann von stetigen oder zyklischen Annäherungen an das Gleichgewicht bis zu stetigen oder zyklischen Fortentwicklungen vom Gleichgewicht eine Vielfalt von Möglichkeiten einschließen. Der Versuch, eine vollständige und allgemeine Lösung in Termini der unbestimmten Strukturparameter (T , s , v , τ , f_p , f_i , f_d) zu gewinnen, ist nicht mehr praktikabel; denn die Folgerungen, die aus einer generellen Lösung gezogen werden könnten, wären - gemessen am Aufwand - bescheiden. Die Ergebnisstruktur hängt ganz von den Größenordnungen der Parameter ab.

Es bleibt also die Möglichkeit, die Parameter numerisch auszudrücken und für jede numerische Parameterkonstellation eine besondere Lösung zu erzielen. Aus einer Vielzahl numerischer Lösungen müßte man - sozusagen induktiv statt mathematisch deduktiv - versuchen, auf typische Eigenschaften der Systemstruktur zu schließen. In der Tat ist dies ein von Ingenieur-

wissenschaftlern häufig angewandtes Verfahren. Sie bedienen sich dabei der Methode der Laplace - Transformation, die gegenüber der 'klassischen' Lösungsmethode den Vorteil aufweist, daß die Anfangsbedingungen automatisch in das Lösungsverfahren einbezogen werden können. Ihr Hauptnachteil ist ihre Begrenztheit auf lineare Systeme, ein Nachteil, der für den Ökonomen erheblich schwerer wiegt als für den Ingenieur.

3.3 Schwächen linearer dynamischer Modelle

Das Multiplikator - Akzelerator - System, aus dem die Lösungsgleichungen (16) bzw. (18) im Abschnitt 3.23 abgeleitet wurden, ist so einfach strukturiert, daß es zur Fundierung politischer Entscheidungen nicht herangezogen werden könnte. Zu viele Elemente eines realen Wirtschaftssystems sind nicht explizit berücksichtigt. Außerdem wird sein Erklärungswert durch die Linearität der Modellstruktur beeinträchtigt.

Die Charakteristika linearer dynamischer Systeme lassen sich wie folgt zusammenfassen: ¹⁾ Die Struktur der Lösungspfade, ausgedrückt im Dämpfungsfaktor α und der Periode $\frac{2\pi}{\omega}$ ist für alle endogenen Variablen identisch. Wenn eine Variable gedämpften Schwingungen unterliegt, so sind alle Variablen gedämpft. Die Variablen unterscheiden sich durch Amplitude und

1) Vgl. Allen, R. G. D., "Mathematical Economics ", S. 738 f. und an verstreuten Stellen.

Phase, die durch "äußere" Faktoren, also Anfangsbedingungen oder exogene Kräfte bestimmt werden.

Aus diesen Merkmalen resultieren die Schwächen linearer dynamischer Modelle. Zur Erklärung langfristiger Konjunkturschwankungen müßte der Dämpfungsfaktor α des Systems genau Null sein, ein Wert, der sich nur durch seltenen Zufall aus den Strukturparametern ergibt. Für $\alpha > 0$ expandieren die Zyklen (oder das stetige Wachstum) im Zeitablauf, bei hinreichend starkem α sogar sehr schnell. Eine obere Grenze der (z.B.) Einkommensexpansion gibt es nicht. Für $\alpha < 0$ sterben die Zyklen mehr oder weniger schnell ab.

Außerdem wird die Amplitude der zyklischen Schwankungen nicht endogen, sondern exogen (z.B. durch Anfangsbedingungen) determiniert, ein für die Erklärung langfristiger ökonomischer Prozesse unzureichendes Ergebnis.

Und schließlich bedingt die Einzwängung der zyklischen Bewegungen in trigonometrische Funktionen die Symmetrie von Auf - und Abschwungphase. Diese Übereinstimmung beider Phasen in der Länge wie in der Größenordnung ist ein mit realen ökonomischen Prozessen kaum in Einklang zu bringendes Moment.

Hinzu kommen Einschränkungen anderer Art, die die multiplikative Verbindung von Variablen (z.B. Preis mal Menge) oder nichtlineare Strukturparameter (z.B.

Konsumneigung) betreffen.

All diesen Beschränkungen unterlag auch das Multiplikator-Akzelerator - System der vorausgegangenen Abschnitte. Trotzdem stieß man schon sehr schnell an die Grenzen analytischer Lösbarkeit, so daß keine allgemeine Lösungen mehr erwartet werden konnten.

Wenn aber schon bei linear strukturierten Modellen die Ableitung numerischer Lösungen notwendig wird, die sich zweckmäßig mit dem Computer erzielen lassen, dann können auch realistischere Modelle konstruiert werden, ohne damit die Lösbarkeit gegenüber linearen dynamischen Modellen merklich einzuschränken. Denn numerische Computerlösungen sind für beide Modellarten gleicherweise möglich. Nur bietet die Computersimulation komplexer, nichtlinearer Modelle den Vorteil, durch Beseitigung der linearen Modellbeschränkungen die Prozesse vollständiger und genauer nachbilden zu können. Die auf diese Weise verbesserte Systemkenntnis kann die Grundlage zur Überprüfung und Vorbereitung praktischer wirtschaftspolitischer Entscheidungen schaffen.

4. Die Methode der Computer-Simulation komplexer, nichtlinearer Systeme.

4.1 Besondere Merkmale des Computer - Modells

4.11 Nichtlineare Verhaltensfunktionen

Der Mangel linearer dynamischer Modelle, Konjunkturschwankungen und damit langfristige ökonomische Prozesse zu erklären, führte zur Eingliederung nicht-

linearer Elemente in die makroökonomischen Modelle.

Das geschah - historisch betrachtet - auf zweierlei Art. Während Hicks die explosive Dynamik des Akzelerators durch exogene Faktoren, 'ceilings' und 'floors', in Schach hielt, funktionierte Goodwins nichtlineares Element systemimmament.¹⁾ Kennzeichnend für beide Versionen war die Irreversibilität des Akzelerationsprinzips, die sowohl zur angestrebten Dämpfung des Akzelerators als auch zur Asymmetrie von Aufschwung- und Abschwungphase im einfachen Konjunkturmodell führte. Damit war ein erster Schritt zu wirklichkeitsgetreueren Abbildungen gesamtwirtschaftlicher Prozesse getan.

Daß das heute verfügbare theoretische Instrumentarium vergleichsweise wenig nichtlineare Modellelemente umfaßt, mag mit der schwierigen mathematischen Lösbarkeit der daraus entstehenden Modelle zusammenhängen. Da aber die lineare Abbildung empirischer Erscheinungen immer nur entweder ein Spezialfall oder für einen eng begrenzten Verhaltensbereich gültig sein kann, darf sich der Konstrukteur eines realistischen Modells nicht auf lineare Verhaltsbeziehungen beschränken. Insbesondere für dynamische Modelle, die einen längeren Zeit-

1) Vgl. Hicks, J. R., "A Contribution to the Theory of the Trade Cycle", Oxford 1950, Chapter VI und Appendix, sowie Goodwin, R. M., "The Non - linear Accelerator and the Persistence of Business Cycles", "Econometrica", 19, 1951, S. 1 - 17.

raum ökonomischer Entwicklung umspannen und folglich einen größeren Bewegungsspielraum der Variablen und Prozesse von vornherein berücksichtigen müssen, führt die lineare Approximation von Verhaltensfunktionen (durch Tangentenabschnitte) leicht zu irregulären Ergebnissen.

Denn ökonomische Zusammenhänge sind häufig nicht-linear. Wichtige Strukturparameter wie die marginale Konsumneigung ändern sich mit Variation des Niveaus der Prozeßvariablen. Im Zuge der dynamischen Einkommensentwicklung verschieben sich die Bedarfsrelationen der nachgefragten Güter. Analoges gilt für abgeleitete Nachfragen, wie sie sich in den Produktionskoeffizienten niederschlagen. Andere Verhaltensbeziehungen wie die Determinierung von Lohnsätzen oder die Abhängigkeit der Investitionsneigung von realisierten und erwarteten Profiten sind für Perioden des Einkommenswachstums anders zu definieren als für Perioden des Einkommensrückganges. Es handelt sich dabei um irreversible Prozesse.

Engpässe oder Kapazitätsbegrenzungen bringen Diskontinuitäten in die Verhaltensfunktionen, weil sich an derartigen markanten Stellen das Verhaltenskonzept (z.B. der Angebotspreisbildung) mehr oder weniger abrupt ändert.

Die systemimmanente Erklärung all dieser Prozesse, also eine Erklärung, die sich nicht in linearen Nebenbindungen im Rahmen eines linearen Modells er-

schöpft, führt zu einem grundlegend anderen Modelltyp, der in den weiteren Ausführungen als nichtlineares Computermode'll bezeichnet wird.

4.12 Komplexe Modellstruktur

Mit der Einbeziehung nichtlinearer Elemente geht eine Zunahme der Komplexität des Modells einher. Gegenüber dem theoretisch - analytischen Modell verlangt die Formulierung wirklichkeitsnaher Verhaltensweisen einen niedrigeren Aggregationsgrad. So läßt sich die Konsumfunktion in mehrere Nachfragen nach verschiedenen Produktgruppen, die sich durch unterschiedliche Einkommens- und Preiselastizitäten auszeichnen, auflösen. Die Berücksichtigung der Einkommensverteilung führt darüber hinaus zu einer personellen Differenzierung, ausgedrückt in einer gespaltenen marginalen Konsum- bzw. Sparneigung. Verzögerungsstrukturen zwischen Einkommensänderung und Ausgabenänderung einerseits und Preisänderung und Ausgabenänderung andererseits tragen zur weiteren Erhöhung der realitätsbezogenen Komplexität bei.

Der Nachfragedifferenzierung muß eine entsprechende Angebotsdifferenzierung entsprechen. Damit zerfällt das Wirtschaftssystem in Sektoren. Zusätzlich zu den durch Nachfragedifferenzierung entstandenen Sektoren können Unterschiede in der Produktionstechnik, die sich in unterschiedlichen 'capital - output - ratios' niederschlagen, eine weitere Sektorenbildung rechtfertigen. Die Gliederung in Sektoren erhöht die Modell-

komplexität beträchtlich, weil außer den zahlreichen (Input - Output-) Verbindungen zwischen den Sektoren auch die sektoralen Verbindungen zu den übrigen Modellteilen wie Außenhandel oder Staatsaktivität hergestellt werden müssen.

Mit der Differenzierung der Verhaltensweisen werden auch die Verzögerungsstrukturen zahlreicher und komplizierter.

Schließlich resultiert eine zunehmende Komplexität aus einer Verlagerung der Grenze zwischen endogen erklärten Vorgängen und exogenen Wirkungen. So lassen sich demographische Faktoren, die üblicherweise in ökonomischen Modellen exogen behandelt werden, in das Modell eingliedern, sofern geeignete Hypothesen aufgestellt werden können. ¹⁾

" The economic development of a nation is only partly an economic process. The literature on development is full of discussions of 'noneconomic factors' - political, cultural, psychological - which must be favorable if development is to proceed." ²⁾ Gelingt es, einige dieser metaökonomischen Faktoren, denen auch

1) Ein hochkomplexes Computermodell, in dem demographische Faktoren zu den wesentlichen Systembestandteilen gehören, wurde von einem Autorenteam für die USA entwickelt. Allerdings ist die Formulierung auf mikroökonomischer und ökonometrischer (stochastischer) Basis. Vgl. Orcutt - Greenberger - Korbel - Rivlin, "Microanalysis of Socioeconomic Systems: A Simulation Study", New York 1961.

2) Holland, Edward P., with Gillespie, Robert W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge / Mass., 1963, S. 3.

Rostow ¹⁾ in seinen 'Take - off'- Beschreibungen breiten Raum einräumt, in die Modellprozesse einzugliedern, kann sich der 'Realitätsgehalt' des Modells beträchtlich erhöhen.

Staatliche Aktivitäten, seien sie fiskal-, geld- oder kreditpolitischer, seien sie importrestriktiver oder exportfördernder Art, können die endogene Modellstruktur abrunden, um die stabilisierende Wirkung dieser Maßnahmen auf die Systemabläufe zu testen. Dieses Ausprobieren politischer Aktionen motiviert die Konstruktion eines komplexen und nichtlinearen Computermodells. Nur wenn staatliche Handlungen und Eingriffe an einem System getestet werden können, das die vielgestaltigen Vorgänge in der Realität angemessen differenziert und ohne unnötige Beschränkungen nachbildet, besteht eine Chance für brauchbare, d.h. anwendbare Ergebnisse.

4.2 Simulationen als Lösungsverfahren:

Wie gezeigt wurde, stoßen schon lineare dynamische Modelle sehr schnell an die Grenzen ihrer mathematischen Lösbarkeit. Es ist deshalb keine Frage, daß ein komplexes und mit einer ganzen Reihe nichtlinearer Faktoren ausgestattetes Systemmodell eines grundlegend anderen Lösungsverfahrens bedarf. Jeder Versuch einer expliziten Lösung wäre von vornherein zum Scheitern

1) Vgl. Rostow, Walt W., "Stadien wirtschaftlichen Wachstums", 2. Aufl., Göttingen 1967.

verurteilt.

Als angemessene Methode, das komplexe Systemmodell zu handhaben, erweist sich die Simulation auf dem Computer. Charakteristisch für dieses Verfahren ist, daß Experimente, die am realer Wirtschaftssystem nicht durchgeführt werden können, am Systemmodell nachgebildet (simuliert) werden.

Der Computer generiert für beliebig viele besondere Bedingungen, im Modell durch alternative Konstellationen von numerisch spezifizierten Parameterwerten, Anfangszuständen und exogenen Reihen repräsentiert, Zeitreihen aller interessierenden Systemvariablen. Jeder besonderen Situation entspricht ein Computerdurchlauf ('run'): mit anderen Worten, für jede denkbare reale Situation vollzieht der Computer die Systemabläufe nach und gibt die Ergebnisse in Form von Zeitreihen je relevanter endogener Variabler, also in Form eines Zeitreihensatzes aus. Die Zeitreihen erstrecken sich über den gesamten (exogen vorgegebenen) Zeitraum, den das Systemmodell umschließt. Damit verfügt man über eine Methode, selbst hochkomplizierte Modelle zu lösen. Versuchte man, diese Lösungsmethode formal einzuordnen, so müßte man sie, nach dem Grad der allgemeinen Gültigkeit geordnet, nach den vollständigen analytischen Lösungen mit un-spezifizierten Strukturparametern und den besonderen Lösungsfunktionen für numerisch ausgedrückte Situationen an die dritte Stelle setzen, als ein Verfahren,

daß jegliche explizite Lösungsfunktion durch Zeitreihengenerierung auf hypothetisch - experimentellem Wege ersetzt.

Inhaltlich tritt damit an die Stelle von Lösungsversuchen für partielle Probleme, wie sie theoretische Analysen kennzeichnen, das Experimentieren am detailliert repräsentierten Gesamtsystem einer Volkswirtschaft. In diesem Sinne wird makroökonomische Computersimulation im Rahmen dieser Arbeit verstanden. Weder Simulationen an sich, die auch für typische Operations - Research - Probleme (Lagerhaltung, Warteschlangen usw.) oder auch für makroökonomische Modelle theoretischen Typs ¹⁾ Anwendung finden, noch die Computerlösung als solche, die auch bei der Matrixinversion eines interdependenten linearen Modells in Frage kommt, charakterisieren die neue Methode, sondern im Nachvollziehen (Simulieren) dynamischer Prozesse am modellierten komplexen System einer Volkswirtschaft besteht das Wesen makroökonomischer Computersimulation.

1) Für diese Art von Simulationslösungen sei beispielhaft die Arbeit von Strotz, R. H., Mc Anulty, I. C., and Naines, I. B., "Goodwin's Nonlinear Theory of the Business Cycle: An Electro - Analog Solution", in: "Econometrica", Juli 1953, angeführt, die das eingangs dieses Hauptabschnittes erwähnte Multiplikator - Akzelerator - Modell von Goodwin zum Gegenstand hat.

4.3 Alternativen der technischen Realisierung von Simulationen

Es soll nun untersucht werden, wie die Computersimulation eines komplexen, nichtlinearen dynamischen Modells technisch realisiert werden kann, angefangen von der Form, in der die Daten einzugeben sind, bis hin zu den Möglichkeiten der Datenausgabe und -auswertung.

Es wird davon ausgegangen, daß das zugrundeliegende Computermodell in kontinuierlichen Termini formuliert ist. Die weitaus meisten makroökonomischen dynamischen Modelle, insbesondere des komplexen Typs, sind ohnehin als reine Differentialgleichungssysteme oder als Mischsysteme aus Differenzen- und Differentialgleichungen konstruiert.

Aggregierte Anpassungsvorgänge finden, wie gesagt wurde, in kontinuierlich ablaufenden Prozessen ihren wirklichkeitsnahen Ausdruck. Insofern erweist sich die Beschränkung auf kontinuierliche Systeme als nicht weiter gravierend.

Unter dem Gesichtspunkt der technischen Realisierung kommt hinzu, daß die Praxis für kontinuierliche Modelle mehr Verfahrensmöglichkeiten bietet als für diskontinuierliche Modelle. Das ist unter anderem darauf zurückzuführen, daß Simulationstechniken zuerst auf andere als ökonomische Systeme angewandt wurden und Analytiker ökonomischer Systeme heute von den Praktiken und Erfahrungen ingenieurtechnischer, physikalischer oder militärisch - logistischer Anwendungen profitieren.

Zwei Typen maschineller Ausrüstung stehen zur Durchführung von Simulationsexperimenten zur Verfügung, die Analogausrüstung und der Digitalcomputer. Gemeinsam ist beiden Maschinentypen, daß sie für einen Durchlauf ('run') des dynamischen Modells nur sehr kurze Zeit benötigen sowie genaue und zuverlässige Ergebnisse hervorbringen. In ihrer Arbeitsweise dagegen unterscheiden sie sich fundamental. Norbert Wiener brachte den Unterschied auf die prägnante Formel: Die Analogmaschine mißt, die Digitalmaschine zählt.

4.31 Analog - Simulation

Das Analoggerät arbeitet mit einem dem Modell analogen physikalischen System, so daß die Modellvariablen als analoge physikalische Größen (z.B. elektrische Spannungen) erscheinen. Beim Universal - Analogrechner, der für Simulationsexperimente in Frage kommt, steht eine Auswahl von elektromechanischen und elektronischen Einheiten zur Verfügung, von denen jede irgendeine elementare funktionale Beziehung wie Multiplikation mit einer Konstanten, Integration oder einfache Exponentialverzögerung verkörpert oder auch eine beliebige nichtlineare Funktion erzeugen kann. Diese Einheiten werden in Analogie zu den in den Strukturbeziehungen des Modells enthaltenen Elementen durch Drähte verbunden. Auf diese Weise erfährt das Modell, das bereits eine Abbildung eines realen Systems ist, eine erneute Abbildung. Für ein komplexes Modell kombiniert man zweckmäßig zunächst Subsysteme, die Teil-

bereichen des Gesamtsystems entsprechen, wobei einige Inputvariable, die im Gesamtmodell endogen sind, vorübergehend exogenen Charakter annehmen. Die in Analogelementen ('hardware') realisierten Subsysteme werden, nachdem sie isoliert voneinander getestet sind (Näheres dazu in Abschnitt 4.41), zum Totalsystem verdrahtet. Setzt man das System nach Einstellung der Anfangsbedingungen, der exogenen Einflüsse und der spezifischen Parameterkonstellation für den ersten Run in Gang, so empfängt jede Einheit des Analogsystems Signale (elektrische Spannungen) von einer oder mehreren anderen Einheiten, und zwar proportional den 'unabhängigen' Variablen der zugrundeliegenden Strukturgleichung, und jede Einheit produziert Signale, die zum Input für eine oder mehrere andere Einheiten werden. Auf zeitlich variierende Inputspannungen antworten die elementaren Einheiten mit - der spezifischen Elementarfunktion jeder Einheit entsprechenden - zeitlich variierenden Outputspannungen. Ist soviel Zeit verstrichen (z.B. 30 Sekunden), daß der gewünschte Systemzeitraum (z.B. 15 Jahre) abgelaufen ist, wird der Durchlauf (Run) abgeschaltet. Das zeitliche Verhalten der signifikanten Modellvariablen über diesen Zeitraum hinweg wurde von einem Zeichengerät (plotter) graphisch protokolliert, oder es kann vom Bildschirm eines Oszillographen abgelesen werden.

Änderungen von Parametern oder exogenen Störungen für den nächsten Durchlauf lassen sich technisch einfach und schnell bewerkstelligen. So kann nach einer Reihe

von Runs anhand der aufgezeichneten Zeitdiagramme das Verhalten der wichtigen Modellvariablen unter alternativen Bedingungen beobachtet und ausgewertet werden.

Analogsimulationen spielten in der historischen Anfangsphase der Simulationsstudien eine bedeutende Rolle.¹⁾

Aus der heutigen Sicht liegen ihre Vorteile in ihrer Direktheit und Anschaulichkeit, vor allem für den Computer-Laien. Er sieht unmittelbar, was vor sich geht.

Ein wesentlicher Nachteil liegt in der Inflexibilität des einmal aufgebauten Analogsystems. Während der Simulationstätigkeit an einem bestimmten Modell können die 'verdrahteten' Geräte nur unter erheblichem Aufwand für andere Zwecke verwendet werden. Vorübergehende Unterbrechungen der Simulationsexperimente, wie sie zur systematischen Vorbereitung neuer Versuchsreihen anhand von Analysen der bereits erzielten Ergebnisse unumgänglich sind, erweisen sich wegen des Maschinenstillstandes als unrentabel. Außerdem nehmen Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Ergebnisse von einer bestimmten Modellgröße an rapide ab. Zur Simulation disaggregierter makroökonomischer Systeme ist die Analogmaschine deshalb wenig geeignet. Aus diesen Mängeln der Analogsimulation erklärt sich die zunehmende Bedeutung der Digitalsimulation.

1) Vgl. Lesemann, Klaus-Jürgen, "Rechengeräte zur Lösung volkswirtschaftlicher Regelprobleme" in: Geyer, Herbert und Oppelt, Winfried, "Volkswirtschaftliche Regelungsvorgänge", München 1957, S. 115 - 143.

4.32 Digital - Simulation

An die Stelle der Errichtung eines analogen Systems und des Messens physikalischer Größen tritt bei der Digitalsimulation die Tätigkeit des Programmierens und die dadurch ausgelöste interne Arbeit des Digitalcomputers.

4.321 Funktionsweise des Digitalcomputers

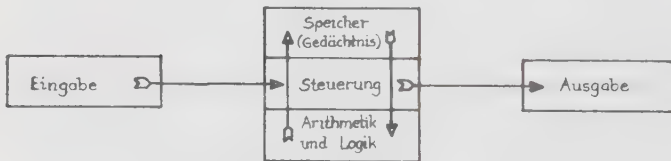
Während das Analogsystem im wesentlichen mit stetigen physikalischen Größen arbeitet, beruht die Arbeitsweise des Digitalcomuters auf der Grundlage des Zählprinzips mit (diskreten) Ziffern. Er nimmt Informationen in Form digitaler, d.h. bestimmten Rechenregeln gehorchender, Symbole auf und verarbeitet diese durch logische und arithmetische Operationen zu neuen Symbolkombinationen (Datenverarbeitung). Welche Operationen in welcher Reihenfolge auszuführen sind, bestimmt der Mensch durch die Programmierung, die auf das jeweils spezifische Problem, das zu lösen ist, zugeschnitten ist. Nach Eingabe des Programms und der zu verarbeitenden Daten in einer der Maschine 'verständlichen' Sprache übernimmt der Computer die sukzessive Ausführung der Programmbefehle automatisch. Die Programmsteuerung durch den Menschen wird somit durch die Selbststeuerung der Maschine ergänzt.

Damit der Rechenbetrieb automatisch abläuft, müssen folgende Teilsysteme geordnet zusammenarbeiten: Steuerwerk, Speicher und Rechenwerk, die zusammen die Zen-

traleinheit bilden, und als periphere Geräte die Eingabe- und Ausgabeeinheiten.

Die Eingabeeinheit (Lochkartenleser, Lochstreifenleser oder Schreibmaschine) nimmt Programm und Daten auf, die Steuereinheit leitet diese Informationen an das Speicherwerk, das Gedächtnis des Computers weiter. Von dort gelangen sie - wieder durch Impulse des Steuerwerkes ausgelöst - zur Verarbeitung in die Recheneinheit und die Ergebnisse (über das Steuerwerk) zurück zum Speicher. Und schließlich leitet die Steuereinheit die verarbeiteten, gespeicherten Informationen zur Ausgabe (Lochkartenstanzer, Schnelldrucker, Schreibmaschine).

Die zentrale Rolle des Steuerwerkes veranschaulicht das folgende Funktionsdiagramm ¹⁾ einer elektronischen Rechanlage (Pfeile zeigen den Informationsfluß):



1) Das Bild ist dem Buch von Chapin, Ned, "Einführung in die elektronische Datenverarbeitung", Wien und München 1963, S. 19 entnommen.

4.322 Aspekte der Programmierung

4.3221 Allgemeine Charakterisierung

Bevor mit der eigentlichen Programmierung, der eindeutigen Instruierung des Computers über den Lösungsablauf eines Problems, begonnen werden kann, muß eine Problem- oder Systemanalyse vorgenommen werden. Sie kann sich in einem Blockkdiagramm niederschlagen, das in "Blöcken", die durch Pfeile verbunden sind, den logischen und operativen Ablauf des Programms graphisch fixiert.

Mit zunehmender Verfeinerung des Blockdiagramms vollzieht der Analytiker den Übergang zur eigentlichen Programmierung: der Aufschlüsselung des gesamten Problemablaufes in eine Reihe einfachster Operationen wie Addition zweier Zahlen, Vergleich zweier Zahlen, oder Transport einer Zahl vom Speicher in den Rechner. In der Maschinensprache des jeweiligen Digitalcomputers niedergeschrieben (codiert), heißt dieser fixierte Operationsablauf 'betriebsfertiges' oder 'Maschinenprogramm'. Nur wenn die aneinandergereihten Instruktionen, die das Programm bilden, in streng logischer Folge, darüber hinaus genau und vollständig sind, kann die Maschine die ihr gestellte Aufgabe bewältigen.

Für typische, immer wiederkehrende Problemstellungen läßt sich diese minuziöse Programmiertätigkeit insofern erleichtern, als die Instruktionen in problemorientierter Sprache - ohne Bezugnahme auf einen bestimmten Digitalcomputer - formuliert werden können. Das erspart dem Programmierer Spezialkenntnisse einer

bestimmten Maschine (Befehlsaufbau, Adressierung) und geschieht in einer Sprache, die aufgrund ihrer Ausrichtung auf eine spezielle Problemart (z.B. Lösung interdependenter, dynamischer Systeme) vom Forscher selbst leicht beherrscht werden kann. Neben den bekannten Sprachen A L G O L, F O R T R A N und C O B O L ist in diesem Zusammenhang die zur Lösung dynamischer Systeme entwickelte D Y N A M O - Sprache zu nennen, auf die noch einzugehen sein wird. Für die Maschine, auf der das in problemorientierter Sprache formulierte Programm laufen soll, muß ein sogenanntes Compiler - Programm verfügbar sein, das die Übersetzung (und Adressenzuordnung) des problemorientierten Programms in den betreffenden Maschinen-code automatisch besorgt.

4.3222 Rekursives Schema

Nach der allgemeinen Charakterisierung von Arbeitsweise und Programmierung des Digitalcomputers kann nun das Problem der Digitalsimulation aufgegriffen werden.

Zu den vorbereitenden Arbeiten gehört die Zerlegung des Gesamtmodells in übersehbare Teilsysteme, z.B. in ökonomische Sektoren, wobei einige Variable aus Abgrenzungsgründen 'exogen' werden. Die Verbindungen zwischen Teilen können in einem Blockdiagramm fixiert werden, das den zusätzlich anzufertigenden Teilsystemdiagrammen sozusagen übergeordnet ist.

Die anschließende Programmierarbeit stößt auf ein Problem. Der Digitalcomputer kann, wie erwähnt, nur sehr simple Operationen und diese in sukzessiver Folge (wenngleich in extrem hoher Geschwindigkeit) ausführen. Das (Teil-) Modell des ökonomischen Systems ist aber so formuliert, daß die Variablen in interdependenter Weise verknüpft und ihre Werte mit- hin nur in einem simultanen Lösungsverfahren bestimmt werden können - für den Digitalcomputer ein unlösbares Problem.

Aus diesem Grunde ist eine Umformulierung des Systemmodells notwendig. Sämtliche Strukturgleichungen sind auf eine Folge solcher Operationen zu reduzieren, die nacheinander ausgeführt werden können, wobei zur Bestimmung jedes Variablenwertes in einem Zeitabschnitt nur auf bereits verfügbare Informationen aus vergangenen Zeitabschnitten zurückgegriffen werden muß.

Mit anderen Worten: Das kontinuierliche interdependente Modell ist durch Einführung einer einheitlichen Berechnungsperiode in ein diskontinuierliches rekursives Modell umzustrukturieren. Bei hinreichend kurzem Berechnungsintervall können die diskontinuierlichen Strömungsraten als befriedigende Approximation der kontinuierlich variierenden Raten des ursprünglichen Systems anerkannt werden.

Die Berechnung (Simulation) der Systemvariablen erfolgt dann periodenweise rekursiv, d.h. der Computer

iteriert die Variablenwerte unter Verwendung bereits errechneter Werte von Intervall zu Intervall über den gesamten Modellzeitraum.

4.3223 Problemorientierte DYNAMO-Sprache

Für die Reformulierung des interpendenten in ein rekursives (Teil-) Modell steht dem Forscher die schon erwähnte problemorientierte DYNAMO - Sprache ¹⁾ zur Verfügung, die am Massachusetts Institute of Technology eigens für diese Prozedur entwickelt wurde.

DYNAMO symbolisiert Variable und Parameter in mnemotechnischer Weise. Im wesentlichen werden zwei Arten von Variablen unterschieden: zum einen 'levels', die akkumulierte Summen oder Bestandswerte repräsentieren, zum anderen 'rates', die diskontinuierliche Entsprechungen zu den ursprünglich kontinuierlichen Änderungsraten darstellen. Mit Hilfe der so definierten 'levels' und 'rates' gelingt die beabsichtigte Approximation der kontinuierlichen Differentialgleichungen durch Differenzengleichungen. Dieser Substitutionsvorgang wird am Beispiel deutlich. Aus der kontinuierlichen Strukturgleichung einer Exponentialverzögerung,

$$\frac{d(YC)}{dt} = \frac{1}{AYD} (YD - YC),$$

1) Vgl. Forrester, Jay W., "Industrial Dynamics", Cambridge / Mass., 1965 insbesondere Chapter 6 - 9 und Pugh, Alexander L. (III), " DYNAMO User's Manual", 2 nd. ed., Cambridge / Mass. 1963.

wo: YD = verfügbares Einkommen,

YC = Konsumsumme (genau: verzögertes verfügbares Einkommen, wie es in die Konsumfunktion eingeht),

AYD = Zeitkonstante der Verzögerung,

entstehen zwei äquivalente DYNAMO-Gleichungen:

$$RYC.KL = \frac{1}{AYD} (YD.K - YC.K) \quad (21 R)$$

$$YC.K = YC.J + (DT) (RYC.JK + 0) \quad (1 L)$$

Die rechts stehenden Notierungen verweisen auf die Gleichungsformen, wobei L für 'level' und R für 'rate' stehen.

Die Variablen der DYNAMO-Gleichungen sind mit Zeitindizes versehen. J und K symbolisieren zwei aufeinanderfolgende Zeitpunkte, JK das Zeitintervall zwischen J und K, das DT Zeiteinheiten (z.B. 0,05 Jahre) lang ist. Beendet sich der Berechnungsablauf im Zeitpunkt K, dann sind die 'rates' für JK unmittelbar vorher berechnet worden, und auch weiter zurückliegende Informationen sind verfügbar. Folglich können die 'levels' des Zeitpunktes K berechnet werden, die wiederum die Berechnungsgrundlage für die 'rates' des Intervalls KL sind. Ist dies abgeschlossen, 'schaltet' die Zeit automatisch einen Takt weiter und die gleiche Prozedur wiederholt sich für den nächsten Zeitabschnitt. So können in rekursiver Weise alle Variablen schrittweise berechnet werden.

Im obigen Beispiel wird die dem Zeitintervall DT entsprechende Proportion der Änderungsrate RYC, also (DT) mal (RYC.JK), zum YC-'level' im Zeitpunkt J addiert, um den aufgelaufenen Wert von YC im Zeitpunkt K zu erhalten.

4.3224 Vorteile_der_DYNAMO-Formulierung

Um den Unterschied zwischen problem-orientierter Sprache (DYNAMO) und Maschinensprache (betriebsfertigen Programm) zu demonstrieren, sei ein winziger Modellausschnitt in beiden Alternativen spezifiziert.¹⁾ Die simple algebraische Gleichung

$$w_{t=jk} = b\left(\frac{x}{y}\right)_{t=j} + a,$$

wo w , x und y Variable, a und b Konstanten sind, soll für $w_t = jk$ gelöst werden. Anzumerken ist, daß x und y für den Zeitpunkt j bereits berechnet und im Computer auf den Plätzen 100 und 101 gespeichert sind. Die vorgegebenen Konstanten b und a stehen auf den Speicherplätzen 102 und 103.

a.) Betriebsfertiges Programm

<u>Code</u>	<u>Bedeutung</u>
CLA 100	Lösche vorherige Berechnung und hole x -Wert von Platz 100.
FDP 101	Hole y -Wert von Platz 101, dividiere x durch y und halte Resultat für nächste Operation fest.
FMP 102	Hole b -Wert von Platz 102 und multipliziere ihn mit x durch y (vom vorherigen Schritt).
FAD 103	Hole a -Wert vom Platz 103 und addiere ihn zum Resultat des vorherigen Schrittes.
STO 104	Speichere das Ergebnis, w_{jk} , auf Platz 104.

1) Das Beispiel entstammt dem 'working paper' eines Computermodells. Vgl. Holland - Tencer - Gillespie, "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", Cambridge, Mass. 1960, S. 21 ff.

b.) DYNAMO-Sprache

$$W.JK = (B) (Z.Y) + (A) (1.0)$$

$$Z.J = \frac{X.J}{Y.J}$$

Die Gegenüberstellung zeigt eklatant die Vorteile der DYNAMO-Schreibweise. Zwei algebraischen Gleichungen ähnlicher Art, wie sie das Computer-Modell konstituieren, stehen fünf detaillierte, maschinenspezifische Befehle gegenüber, die der Systemanalytiker nicht ohne weiteres verstehen, geschweige beherrschen kann, so daß er die umständliche Zusammenarbeit mit einem Programmierer suchen müßte.

Im anderen Falle reformuliert der Forscher das Modell in DYNAMO-Gleichungen, also auf einer ihm vertrauten Ebene, liest diese Gleichungen über Lochkarten in den Computer ein, und der (vorprogrammierte) DYNAMO-Compiler generiert automatisch die Maschineninstruktionen des betriebsfertigen Programms.

Mit der Reformulierung des Modells in DYNAMO-Gleichungen ist die manuelle Programmierung bereits abgeschlossen, sieht man von späteren experimentellen Programmänderungen ab. Auch die sonst üblichen Programmtests entfallen weitgehend, weil die maschinelle Generierung des betriebsfertigen Programms eine Reihe automatischer Prüfroutinen, etwa auf unerlaubte Simultanität (statt der erforderlichen Rekursivität) zwischen zwei oder mehreren

DYNAMO-Gleichungen, einbegreift.

In der Einfachheit der problemorientierten DYNAMO-Sprache liegt neben der größeren Flexibilität des Digitalcomputers (verglichen mit der Analogmaschine) einer der Hauptgründe für den Trend zur Digitalsimulation.

4.4 Methodik des Experimentierens und Auswertens

Sind die technischen Voraussetzungen geschaffen, kann die Tätigkeit in Angriff genommen werden, der alle vorbereitenden Mühen gegolten haben: das Experimentieren am analog oder digital realisierten Systemmodell, das jedoch nicht planlos, sondern methodisch durchgeführt werden sollte.

4.41 Abstimmung der Teilsysteme zum Gesamtsystem

Das Verhalten der Modellvariablen und damit des Systems als Ganzes hängt entscheidend von den Strukturparametern ab. Ihrer Spezifizierung ist deshalb besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Grundlage der Parameterspezifizierung sind a-priori-Kenntnisse, die theoretischer oder empirischer Natur sein können.

Hat man in die technisch realisierte Modellstruktur die a priori plausibelsten bzw. wahrscheinlichsten Parameterwerte eingesetzt, startet man eine erste Serie von Runs zur Systemabstimmung. Es wird getestet, ob ein plausibles Systemverhalten resultiert.

Ähnlich wie bei der Programmierung bzw. physikalischen Realisierung des Modells geht man auch hierbei vom Teil zum Ganzen vor, da abgegrenzte Teilsysteme, die durch ad-hoc-Exogenisierung einiger Modellvariablen gebildet werden, besser übersehbar und deshalb praktikabler zu testen sind als das komplexe Gesamtsystem.

Als Teilsystem in diesem Sinne könnte z.B. die in einem komplexen Modell recht differenzierte Konsumstruktur gehandhabt und auf Plausibilität der generierten Ergebnisse geprüft werden. Zu seiner Abgrenzung ersetzt man die im Totalsystem endogen determinierten Preise und Einkommen vorübergehend durch exogene Zeitreihen.

Führt die erste Spezifizierung dieses Submodells nicht zu plausiblen Zeitreihen der verschiedenen Konsumausgabenkomponenten - als nicht plausibel wären langfristig über dem verfügbaren Einkommen liegende oder auch extrem niedrige, vielleicht zeitweise sogar negative Ausgaben anzusehen - dann müßten ein oder mehrere Parameterwerte durch andere, ebenfalls plausible Werte ersetzt werden. Eventuell genügt die Variation der - ökonomisch weniger wichtigen - absoluten Konstanten, um plausible Ergebnisse zu erlangen.

Führen jedoch Parameteränderungen nicht zum Ziel, ist die Überprüfung auf die Erklärungsfaktoren der Ausgabenvariablen auszudehnen, was nötigenfalls bis zur Neuformulierung der gesamten Konsumstruktur gehen kann, an die sich dann erneute Parametertests anschließen.

Sind alle Teilsysteme in dieser Weise durchgeprüft, endogenisiert man die vorübergehend exogenen Variablen und erstreckt die Tests auf das Gesamtmodell, denn plausible Resultate der Teilsysteme garantieren aufgrund der wechselseitigen Verflechtungen zwischen den Teilen noch kein 'Normalverhalten' des Gesamtsystems.

Der erste Block von Experimenten zur Teil- und Gesamt-Abstimmung des Systemmodells kann als erfolgreich abgeschlossen gelten, wenn eine harmonische numerische Struktur erreicht ist, die allen nachfolgenden Experimenten als Vergleichsbasis (Standard - Run) zugrundegelegt werden kann.

4.42 Alternative Fragestellungen

Der zweite, wesentlich umfangreichere Block von Experimenten dient der Erforschung der dynamischen Systemeigenschaften, die durch systematische Variation der Bedingungen, unter denen die endogenen Prozesse ablaufen, erkennbar werden.

Da die Zahl der numerischen Bedingungskonstellationen und damit der potentiellen Runs nahezu unbegrenzt ist, muß der Experimentator eine Auswahl treffen, die offensichtlich davon abhängt, was - zumindest primär - erforscht werden soll. Mit zweckmäßigen und genau gestellten Fragen beginnt also die Kunst des Experimentierens, denn nur dann dürfen von den anfallenden Ergebnissen neue Erkenntnisse oder die Bestätigung vorhandener Kenntnisse erwartet werden.

Will man ökonomische Theorien im Rahmen eines komplexen Modells überprüfen, leiten sich Art und Richtung der Experimente aus der theoretischen Fragestellung ab. Die generierten Resultate werden zeigen, ob der von der ökonomischen Theorie erklärte und somit normalerweise unter der einschränkenden ceteris-paribus-Bedingung geltende Zusammenhang auch unter den vielgestaltigen zusätzlichen Einwirkungen relevant bleibt oder von charakteristischeren Vorgängen überlagert wird. ¹⁾

Außer der Prüfung vorhandener Theorien kann ein weiteres Aufgabenfeld der Versuchsreihen darin liegen, theoretisch noch unerforschte Zusammenhänge ins Blickfeld zu rücken. Diese Art des Experimentierens dient mithin heuristischen Zwecken. Durch ungewöhnliche Fragestellungen werden die Experimente in eine Richtung gelenkt, in der Ansätze für neue ökonomische Theorien vermutet werden.

Ein dritter - im Rahmen dieser Arbeit in erster Linie interessierender - Problemkreis ist wirtschaftspolitischer Natur. Am Systemmodell lassen sich wirtschaftspolitische Aktivitäten verschiedenster Art ausprobieren,

1) So hat Robert W. Gillespie experimentell erhärtet, daß Erfolg oder Mißerfolg einer Währungsabwertung in einem Entwicklungsland nur unwesentlich von den in der Theorie im Vordergrund stehenden vier (ceteris-paribus-) Preiselastizitäten, dagegen wesentlich von einkommensinduzierten Wiederanpassungsvorgängen abhängen. Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Mass. 1963, pp. 75.

um einen Ersatz für am realen Wirtschaftssystem nicht durchführbare Experimente zu schaffen. Anhand der experimentellen Ergebnisse wird der wirtschaftspolitische Praktiker versuchen, seine geplanten Maßnahmen zu beurteilen. Das Systemmodell als Versuchsfeld des Politikers: Dieser Fragenkreis wird im folgenden Hauptabschnitt 5 weiterverfolgt.

Dieser dritte, wirtschaftspolitisch motivierte Bereich darf nicht isoliert von den beiden zuerst genannten gesehen werden. Die Erprobung politischer Maßnahmen ist ja weitgehend auch eine Prüfung von ökonomischen Theorien unter komplexen Bedingungen - nur mit invertierter Fragestellung. Und mit der Bereitschaft und praktischen Phantasie, auch Fragen außerhalb der eingefahrenen Gleise zu stellen, kann die heuristische Komponente die wirtschaftspolitischen Experimente mitgestalten.

Ist man sich schlüssig, welche Fragen untersucht werden sollen, empfiehlt sich die Aufstellung eines Versuchsplanes, der als Richtschnur des Experimentierens, nicht jedoch als starre Schablone gehandhabt werden sollte. Holland ¹⁾ spricht in diesem Zusammenhang von einer Verbindung zweier Prinzipien: 'exploration and survey'. Gemeint ist damit die sukzessive Durchführung einer Reihe von Runs nach dem vorbereiteten Plan ('survey'-Prinzip), der aber sozusagen operativ geändert werden kann ('exploration'-Prinzip), wenn die anfallenden Ergebnisse Variationen in anderer Richtung wünschenswert erscheinen lassen.

1) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., p. 31.

4.43 Formen von Experimenten

Da Experimente an die Stelle eines allgemeinen und deduktiven Lösungsverfahrens treten, fällt ihnen die Aufgabe zu, Grundbestandteile für Aussagen über die Systemdynamik zu liefern, und zwar begrenzt auf die jeweilige Fragestellung.

Die weitaus meisten Experimente beziehen sich deshalb auf die systematische Variation der fraglichen numerischen Parameterwerte sowie auf alternative äußere Bedingungen in Form von Anfangszuständen und exogenen Zeitreihen.

Eine spezifische Kombination dieser Bedingungen wird vor jedem Run an der Analogmaschine eingestellt bzw. in den Digitalcomputer eingegeben, und die Maschine generiert die **dieser** Konstellation entsprechenden Zeitreihen aller gewünschten Systemvariablen in tabellarischer und (oder) graphischer Form. Über die Run-Nummer können die protokollierten Ergebnisse einwandfrei den Annahmen zugeordnet werden.

In besonderen Fällen können auch die Effekte alternativer Strukturgleichungen untersucht werden, sofern mehrere plausible Erklärungshypothesen zur Auswahl stehen. Allerdings lassen sich diese Experimente nur über entsprechenden Umbau des physikalischen Systems bzw. Programmänderungen realisieren.

Diese zuletzt genannte Form der Experimentation erfährt eine methodische Ausdehnung, wenn einzelne Strukturbeziehungen durch ganze Teilsysteme substituiert werden. Die damit verbundene Disaggregation bestimmter Systemausschnitte erlaubt es, speziellere Fragen zu stellen, die in den nivellierten Aggregaten keine Beantwortung finden würden. Das System besteht dann aus einem Kernmodell, das peripher durch Subsysteme zur Erforschung besonderer Probleme ergänzt werden kann. Ein Beispiel wäre die Substitution eines globalen Sektors Industrie durch ein Subsystem interindustrieller Verflechtungen. In derartigen Fällen sind jedoch die sehr differenzierten Strukturbeziehungen zwischen eingefügtem Teil und gesamtem Restsystem sorgfältig herzustellen.

Der Grund für diese methodische Praxis kann ökonomischer Art (Vermeidung unnötig langer Computerbeanspruchung), häufiger technischer Art sein (begrenzte Speicherkapazität des verfügbaren Computers; Begrenzung sich kumulierender Rundungsfehler durch Verkürzung der Berechnungsketten). Statt mit dem vollständig detaillierten Modell zu operieren, begnügt man sich deshalb für einige Fragen mit dem Kernmodell, während für andere Fragen das jeweils relevante Submodell hinzugenommen wird.

Eine letzte mögliche Variante des Experimentierens ist statistischer Natur. Man kann damit der Tatsache Rechnung tragen, daß die Verhaltensgleichungen nicht alle

tatsächlich vorhandenen Einflußfaktoren auf die zu erklärenden Variablen enthalten, sondern sich auf die wesentlichen Erklärungsfaktoren beschränken. In ökonometrischen Modellen wird der unerklärte Rest durch latente Variable ausgedrückt, die - so wird angenommen - einer statistischen (mehrdimensionalen) Zufallsverteilung (joint distribution), in der Regel der Normalverteilung gehorchen. In simulierten Experimenten können diese normal verteilten Zufallsvariablen mit einer spezifischen, vorzugebenden Varianz künstlich erzeugt werden. Dazu dient ein Zufallszahlengenerator in Form eines technischen Gerätes oder eines Programmes. Unter Beibehaltung einer besonderen systematischen Konstellation über mehrere Runs werden die Abläufe nur den generierten stochastischen Einflüssen ausgesetzt, um die Sensibilität der Resultate gegen zufällige Einwirkungen zu testen.

4.44 Auswertungen generierter Zeitreihen

Mit der maschinellen Ausgabe der Ergebnisse in Form tabellierter und graphischer Zeitreihen ist die gestellte Frage in den meisten Fällen noch nicht beantwortet, weil die Fragestellung auf eine gewisse Generalisierung zielt, die aus den vielen angefallenen Einzelresultaten gezogen werden müßte.

Deshalb schließen sich an die Experimente Auswertungen der Ergebnisse unter den von der Fragestellung bestimmten Gesichtspunkten an, Auswertungen, die auf graphischem

oder mathematischem Wege, manuell oder unter Verwendung technischer Hilfsmittel bis hin zum Computer gewonnen werden können.

Eine einfache Form der Auswertung bietet die Diagrammdarstellung von Zeitreihen. Man kann in einem Diagramm entweder mehrere Zeitreihen ein und derselben Variablen unter verschiedenen Bedingungen oder Zeitreihen verschiedener, thematisch zusammengehöriger Variablen abbilden, um daraus Folgerungen über die Verhaltenseigenschaften ablesen zu können.

Eine weiter abgeleitete Darstellungsform entsteht, wenn die dynamischen Zeitreihen durch Punktwerte, etwa Durchschnitte oder Indexzahlen repräsentiert und als funktionale Zusammenhänge zwischen zwei oder drei dieser abgeleiteten Variablen im Koordinatensystem sichtbar gemacht werden. Als Beispiel sei ein funktionaler Zusammenhang zwischen Lohn- und Konsumgüterpreisindex angeführt, wobei die Anzahl der Punkte im Koordinatenkreuz aus einer gleich großen Zahl von generierten Zeitreihen beider Variablen (unter alternativen Bedingungen) zu gewinnen wären. Jede Zeitreihe gerinnt dabei zum Punktwert, im Beispiel zum Indexwert am Ende des betrachteten Zeitraumes. An die Stelle von Indexzahlen können auch aus zwei Variablen gebildete Relativzahlen treten (z.B. capital-output-ratio nach Ablauf der Zeitspanne).¹⁾

1) Graphische Darstellungen solcher Auswertungsformen erscheinen im Hauptabschnitt 6 im Zusammenhang mit der Besprechung von Computersimulationen an einem Modell der indischen Wirtschaft.

Die generierten Zeitreihen können sogar soweit ausgewertet werden, daß man - unter Verwendung der Methode der kleinsten Quadrate - lineare Beziehungen konstruiert zwischen jeder wichtigen Systemvariablen in jedem interessierenden Berechnungsintervall als abhängiger Variabler und den Anfangsbedingungen, Parametern und exogenen Variablen, deren Variation vernünftig erscheint, als unabhängigen Variablen. Die Regressionshyperebene wird nur für einen engen Bereich um die Standardbedingungen definiert. Die durch die Hyperebenen zu approximierenden Punkte gewinnt man aus separaten Experimenten, bei denen jeweils 1 Bedingung gegenüber dem Basis-Run verändert wird. Bedingung wie daraus resultierender Wert der endogenen Variablen drückt man zweckmäßig als Prozentabweichung gegenüber den entsprechenden Werten des Basis-Runs aus.

Schätzt man schließlich nach Protokollierung einer enormen Menge von Runs die Koeffizienten der Regressionsgleichung nach der erwähnten statistischen Methode, erlangt man eine auf einen gewissen Bereich beschränkte Verallgemeinerung, die es erlaubt, statt weitere Experimente durchzuführen, die lineare Approximation zu verwenden. 1)

Allerdings sind derartige - ohnehin nur mit außergewöhn-

1) Vgl. Orcutt-Greenberger-Korbel-Rivlin, "Microanalysis of Socioeconomic Systems", New York 1961, pp. 390. Dort findet man eine ausführlichere Beschreibung des Verfahrens, das - wie es scheint - relativ stark auf die besondere Thematik des Buches zugeschnitten ist.

lichem Aufwand erreichbaren Generalisierungen - recht gewagt und deshalb mit den gebotenen Vorbehalten zu verwenden.

5. Die experimentelle Erprobung wirtschaftspolitischer Programme

5.1 Wirtschaftspolitische Problemstellung

"Die zentrale Aufgabe einer rationalen Wirtschaftspolitik besteht darin, die tatsächliche sozialökonomische Situation möglichst weitgehend einer bestimmten Programmsituation anzunähern. "1) Der Unterschied zur theoretischen Analyse liegt nicht im Gegenstand, sondern in der Fragestellung: Der komplexe Wirkungszusammenhang wird von der kausalen in die instrumentale Betrachtung invertiert.

Um aus der nahezu unbegrenzten Zahl potentieller Ziel-Mittel-Systeme das unter den gegebenen Bedingungen wünschenswerteste (optimale) auswählen zu können, bedarf es einer Bewertung, wodurch ein normatives Element zum analytischen hinzukommt. Die Entscheidung zugunsten einer Alternative wird durch Bewertung der Ziele getroffen, sei es aufgrund (einer möglichst hohen Wertsumme) der wahrscheinlichen Haupt- und Nebenwirkungen, die eine bestimmte staatliche Aktivität hervorbringt, sei es aufgrund (einer möglichst niedrigen Wertsumme) des Opfers an konkurrierenden Zielen (Alternativkosten), die eine bestimmte Zielrealisierung kostet. In Ermangelung

1) Giersch, Herbert, "Allgemeine Wirtschaftspolitik", Wiesbaden 1961, S. 26.

eines objektiven oder wenigstens verbindlichen Maßstabes liegen solche Bewertungen immer im subjektiven Ermessen der politischen Entscheidungsgremien.

Im Rahmen dieser Arbeit bleiben normative Probleme deshalb weitgehend unberücksichtigt. Vielmehr interessiert die analytische Komponente, also die Erfassung der vielfältigen (positiven) Wirkungen politischer Aktivitäten unter dem Gesichtspunkt, welchen Beitrag die Methode der Computersimulation zu leisten vermag.

Das Computermodell repräsentiert ein Wirtschaftssystem in disaggregierter Form, verglichen mit theoretischen Modellen, und ist so konzipiert, daß es die Wirkungszusammenhänge über eine lange Periode wiedergibt. Entsprechend differenziert in struktureller und zeitlicher Hinsicht können folglich auch die Zielsetzungen und die zu ihrer Realisierung in Frage kommenden Maßnahmen formuliert werden. Dabei sollen nicht isolierte Zweck-Mittel-Beziehungen, sonder Ziel-Mittel-Systeme, bezogen auf eine oder auf alternative Bedingungskonstellationen - im folgenden als wirtschaftspolitische Programme bezeichnet - in das Blickfeld gerückt werden.

Eine Einschränkung wird dahingehend getroffen, daß nur quantifizierbare und teilbare Mittel und Ziele berücksichtigt werden. (In der Praxis kann z.B. eine Variation des Diskontsatzes durch eine Änderung in der Abgrenzung des rediskontfähigen Wechselmaterials unter-

stützt werden ¹⁾, was hier außer acht bleiben muß). Da die Art der Repräsentation wirtschaftspolitischer Programme im Modell und die Möglichkeiten ihrer experimentellen Erprobung eng verflochten sind, werden beide Themen in diesem Hauptabschnitt gemeinsam erörtert.

5.2 Konkrete langfristige Programme

Unter einem konkreten Programm soll ein Ziel-Mittel-System verstanden werden, das auf einer spezifischen, der für den Programmzeitraum wahrscheinlichsten, Bedingungskonstellation gründet. Im dynamischen Computermodell wird ein konkretes Programm, soweit es quantifizierbar ist, in Form exogener Zeitreihen der Instrumentvariablen über den Planungszeitraum vorgegeben.

5.21 Voraussetzungen konkreter Programme

Der Entwurf eines solchen Programmes ist an folgende Voraussetzungen geknüpft. Zunächst bedarf es einer (normativen) Zielpjektion für den Programmzeitraum. Weiterhin müssen die empirische Ausgangssituation und die vielfältigen Wirkungszusammenhänge, wie sie sich im Modell niederschlagen, bekannt sein, um auf diesen beiden Grundlagen eine (positive) Vorhersage der Entwicklung für denselben Zeitraum ohne Anwendung des Programms

1) Vgl. Giersch, Herbert, "Allgemeine Wirtschaftspolitik", S. 312.

treffen zu können. Nur wenn diese Voraussetzungen gegeben sind, können die Maßnahmen des Programms so konkret im voraus geplant werden, daß durch ihre Anwendung die Kluft zwischen dem, was in Zukunft sein sollte und dem, was ohne diese Aktivitäten sein würde, in Richtung einer Annäherung an die gewünschte Entwicklung überbrückt wird. Dem liegt eine letzte Voraussetzung zugrunde: Das Modell sagt die Wirkung des Programms auf das Wirtschaftssystem richtig voraus.

Man kann ein Programm in dieser (exogenen) Form im Modell abbilden, wenn in die Zukunft weisende Strukturmaßnahmen (Reformen) im Mittelpunkt stehen und experimentell bezüglich Größenordnung, Allokation und zeitlicher Streuung der Strukturmaßnahmen in Verbindung mit einigen alternativen Kombinationen der restlichen Instrumente dasjenige Programm herausgefunden werden soll, das das vorgegebene Zielbündel mit möglichst geringen sozialen Kosten (opportunity costs) realisiert.

Für eine - die wahrscheinlichste - Bedingungskonstellation der Programmperiode sind mithin viele unterschiedliche Programme bei gleicher Zielsetzung möglich. Je komplexer die Modellstruktur ist, desto vielfältigere Differenzierungen der Strukturmaßnahmen können experimentell 'durchgespielt' und beurteilt werden.

5.22 Beispiel eines Industrialisierungsplanes

Als typisches Beispiel soll die Erprobung eines langfristig angelegten Industrialisierungsplanes für ein Entwicklungsland kurz skizziert werden.

Das Kernstück des Programms bildet ein umfangreiches, staatliches Investitionsprogramm über den Ausbau der Infrastruktur und die Errichtung produktiver Projekte im industriellen und landwirtschaftlichen Bereich, um externe Ersparnisse für die private Wirtschaft und damit Anreize für zusätzliche private Realkapitalbildung zu schaffen.

Das Programm zielt auf einen dauerhaften Anstieg des realen Einkommens pro Kopf einer schnell wachsenden Bevölkerung unter Beachtung der mit dem Einkommenswachstum konkurrierenden Ziele der Begrenzungen von Inflationsrate und Auslandsverschuldung, Vermeidung von Disproportionalitäten in der Produktionsstruktur in Form von Engpässen und Überkapazitäten, Garantierung von Mindesteinkommen für die Beschäftigten aller Wirtschaftszweige einschließlich der Landwirtschaft. Das Programm ist so formuliert, daß ein Maximalziel (Steigerung des Pro-Kopf-Einkommens) durch eine Reihe von Nebenbedingungen (konkurrierenden Zielen) konkretisiert wird.

Die Experimente konzentrieren sich auf die Variation von Größenordnung sowie sektoraler und zeitlicher Streuung der staatlichen Investitionen, so daß eine Vielzahl unterschiedlicher Pläne konstruiert und in seinen Auswirkungen auf die Wachstumsrate getestet werden

kann. Verschiedene Verteilungen des gleichen Investitionsvolumens führen - über unterschiedliche (aggregierte) Kapazitätswirkungen - zu verschiedenen Wachstumsraten (ausreichende Nachfrage vorausgesetzt). Die gleichzeitig im Auge zu behaltenden Nebenbedingungen setzen indirekt - insbesondere über die kurzfristigen Nachfragewirkungen der Investitionen - dem absoluten Investitionsvolumen eine Grenze, die aber - je nach sektoraler und zeitlicher Streuung der Investitionen - in anderer Höhe verläuft. ¹⁾

Folglich sucht man anhand der generierten Resultate solche Verteilungen der Investitionen, die hohe Wachstumsraten hervorrufen, ohne die Realisierung der konkurrierenden Ziele in Form von Nebenbedingungen nennenswert zu gefährden. (Die Einhaltung der Nebenbedingungen kann durch Einsatz zusätzlicher Instrumente gewährleistet werden, worüber in den folgenden Abschnitten Näheres gesagt wird.)

5.23 Mängel der exogenen Formulierung

Die Problematik dieser Tests liegt in der Exogenität der Programme, die ohne Rückinformation vom System, auf das sie wirken, durchgeführt werden; mit anderen Worten, es fehlt an einer Erfolgskontrolle, die den Ablauf des Programms korrigierend beeinflussen könnte.

Aus diesem Grunde hängt der Erfolg des Programms von den genannten Voraussetzungen einer normativen und einer

1) Illustrationen zur Erprobung eines solchen Entwicklungsplanes erscheinen im Abschnitt 6.

zutreffenden positiven Vorhersage ab, von denen vor allem die letztere problematisch ist. Die positive Vorhersage gründet auf der empirischen Ausgangssituation und der Modellspezifizierung.

Abgesehen von einer generellen 'Ungenauigkeit wirtschaftlicher Beobachtungen' läßt sich die empirische Ausgangssituation je nach Qualität der Statistiken mehr oder weniger zuverlässig bestimmen.

Wesentlich schwieriger hingegen ist die Spezifizierung der langfristig - dynamischen Modellstruktur. Sie impliziert, daß die Verhaltensweisen über den Programmzeitraum vorhersehbar sind. Während kurzfristig der Verhaltensspielraum der Wirtschaftseinheiten, bedingt durch Gewohnheiten, Mode, herrschende Auffassungen, vertragliche Bedingungen, technologische und institutionelle Gegebenheiten usw. relativ eingeengt ist und mithin aus Beobachtungen der Vergangenheit und Gegenwart kurzfristig auch das zukünftige Verhalten geschätzt werden kann, unterliegen die genannten Faktoren auf lange Sicht unvorhersehbaren Veränderungen, so daß die Ungewißheit mit zunehmender Entfernung von der Gegenwart rapide zunimmt. Auf entsprechend schwankendem Boden gründet das Programm. Um dennoch die projektierten Ziele erreichen zu können, müssen zusätzliche, anpassungsfähige Maßnahmen in das Programm einbezogen werden.

5.3 Programmiererweiterung: Flexible Eingriffsregeln

5.31 Informationelle Rückkoppelung

Wegen der erörterten Schwierigkeiten, die die Vorausbestimmung eines langfristigen, konkreten (exogenen) Programmes bereitet und deren Wurzeln in der Begrenztheit bzw. Bedingtheit langfristiger ökonomischer Prognosen liegen, bedarf ein Teil der im Programm enthaltenen Aktivitäten einer flexibleren Planung. Sie kann darin bestehen, daß eine Reihe potentieller Maßnahmen nur qualitativ in den Plan eingeht, während sich die Entscheidung für eine bestimmte Maßnahme sowie Zeitpunkt und Intensität ihrer Anwendung nach der jeweiligen Situation richten. Wie kritisch eine Situation ist, drückt das Ausmaß der Zielabweichung aus; nach ihm bemessen sich die periodisch graduellen Abstufungen der 'therapeutischen' Aktion, die schließlich endet, wenn der kritische Zustand vollständig behoben ist.

5.311 Interventionspunkte

Die Maßnahmen sind folglich in mehreren Kriterien zu formulieren. Zunächst ist festzulegen, welche Aktionen bei Gefährdung welcher Ziele anzuwenden sind. Aufgrund des situationsbedingten Einsatzes der Maßnahmen kommt neutralisierenden Mitteln (gegenüber Ursachentherapie) und ablaufpolitischen Eingriffen (gegenüber ordnungspolitischen Lösungen) ¹⁾ die relativ größere Bedeutung zu.

1) Zu den Begriffen vgl. Giersch, Herbert, "Allgemeine Wirtschaftspolitik", S. 309 ff.

Potentiell steht das gesamte Instrumentarium zur Verfügung, das als 'quantitative Politik' im Sinne Tinbergens ¹⁾ hauptsächlich zur langfristigen Systemstabilisierung und damit vorwiegend zur Erfüllung der als Nebenbedingungen formulierbaren Ziele brauchbar ist.

Sodann ist für jedes dieser Ziele eine Schwelle festzulegen, ein in den Termini der jeweiligen Zielvariablen ausgedrückter Systemzustand, dessen Über- bzw. Unterschreitung die dafür bestimmte wirtschaftspolitische Aktion auslöst: z.B. 3 % jährlicher Anstieg des Konsumgüterpreisniveaus als tolerierte Obergrenze, eine Beschäftigung von 96 % als untere Grenze, oder-relativ formuliert - ein Leistungsbilanzdefizit von einer solchen Höhe, daß bei seinem Fortbestehen der Devisenvorrat binnen 6 Monaten aufgebraucht wäre, als Kennzeichnung einer beginnenden Zahlungsbilanzkrise ²⁾, u.ä.

5.312 Wiederanpassungsaktionen

Schließlich ist die Aktion selbst, die unmittelbar (oder realistischer: nach einem 'administrativen'Lag) nach Überschreitung des Interventionspunktes in Kraft treten

1) Vgl. Tinbergen, Jan, "Wirtschaftspolitik", Freiburg 1968, S.22 ff.

2) Eine ähnliche, flexible Formulierung der Zahlungsbilanzkrise wird im Modell der indischen Wirtschaft verwendet, auf das weiter unten ausführlich eingegangen wird. Vgl. Holland-Tencer-Gillespie, "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", Cambridge/Mass. 1960, p. 168.

soll, so flexibel wie möglich zu formulieren. Da ein unerwünschter Zustand beseitigt werden soll, empfiehlt es sich, die Intensität der Maßnahme intervallweise in irgendeiner (meist proportionaler) Form von der Abweichung zwischen Situation und Norm abhängig zu machen.

Eine Maßnahme kann auch in beiden Richtungen, also bei positiver und negativer Zielabweichung angewendet werden, so daß eine 'interventionsfreie Bandbreite' um den Zielwert existiert.

Abbildung 5 veranschaulicht den Fall, daß der Staat einen Teil seiner Ausgaben antizyklisch an der Arbeitslosenquote (als wichtigem Konjunkturindikator) orientiert. Steigt der Arbeitslosenanteil über 2 %, werden die Ausgaben proportional zur Überschreitung erhöht. Sinkt der Arbeitslosenanteil unter 1 %, reagiert der Staat mit Ausgabenkürzungen, die proportional zur Unterschreitung vorgenommen werden.

Die dargestellte Diskontinuität der Ausgabenanpassung wird im nächsten Abschnitt erörtert.

Statt an der absoluten Quote könnte die Politik auch an der Änderungsrate der Quote orientiert werden. Auch asymmetrische Formulierungen, bei denen man der positiven Richtung der politischen Aktivität einen anderen numerischen Reaktionskoeffizienten als der negativen Richtung zumißt, können realistisch sein.

Es versteht sich von selbst, daß die Maßnahmen in den meisten Fällen indirekt, nur selten direkt auf die zu regulierende Größe wirken. So kommen zur Dämpfung der Preisanstiegsgate Instrumente wie Diskontanhebung, Ausgabenreduktion oder Importerleichterungen und nur in Ausnahmefällen direkte Eingriffe in den Preismechanismus (Festsetzung von Höchstpreisen) in Frage.

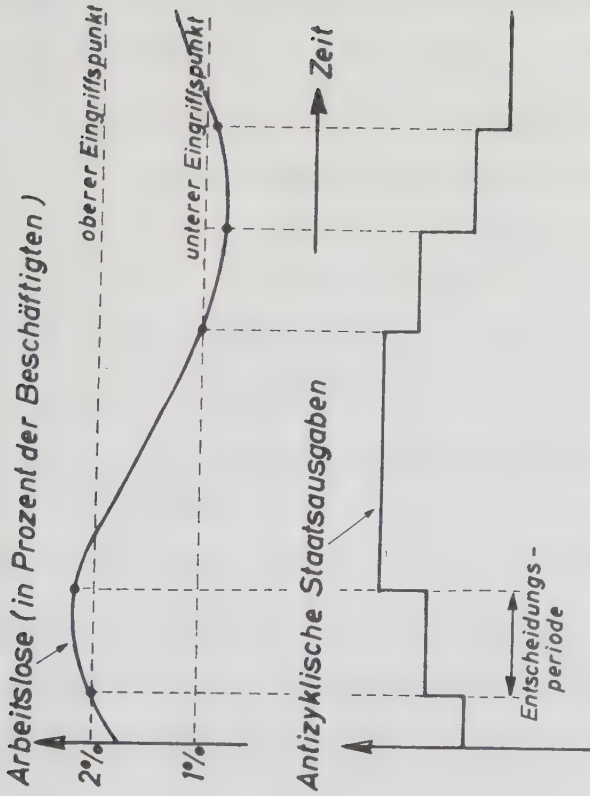


Abbildung 5 : Regulierung der Staatsausgaben nach der Arbeitslosenquote

5.313 Entscheidungsperiode

Zu klären ist noch der Begriff der 'intervallweisen Anwendung' der Eingriffe. Damit soll ausgedrückt werden, daß der Staat nach Ergreifen irgendeiner Maßnahme zunächst eine Frist verstreichen läßt, bevor er sie - proportional zur neuen Soll-Ist-Abweichung - erneut anwendet. Die Wiederholung wird dann praktisch schwächer dosiert, wenn während der 'Wartezeit' eine gewisse Verbesserung der Situation eingetreten ist, und vice versa.

Wählt man die zeitlichen Abstände, in denen eine Aktion nach Prüfung der Lage (gegebenenfalls) wiederholt wird, nicht zu kurz, kann diese Form einer graduellen Anpassung an den gewünschten Entwicklungspfad das Reaktionsverhalten des Staates auf Störungen durchaus plausibel beschreiben. Man denke z.B. an das 'Nachbessern' bei Diskonterhöhungen oder auch bei Währungsabwertungen, wenn mit der ersten Aktion kein durchschlagender Erfolg erzielt wurde.

Im Modell kann diese intervallweise Anpassung einer politischen Aktivität durch eine geometrisch - diskontinuierliche Verzögerungsstruktur mit langer Periode ausgedrückt werden. Im Gegensatz zu den sonstigen strukturellen Anpassungsvorgängen, die aufgrund des kurzen Berechnungsintervalls nahezu kontinuierlich ablaufen, bringen politische Maßnahmen, bedingt durch eine längere Entscheidungsperiode, größere Diskontinuitäten in das Modell. Sie spiegeln die Tatsache, daß auch flexible politische Entscheidungen nicht von heute auf morgen revidierbar sind.

5.32 Nachbildung des Entscheidungsvorganges

Vergleicht man die hier formulierten (proportionalen) Eingriffsregeln mit der proportionalen Stabilisierungspolitik in den Modellen von Phillips, so bestehen die wesentlichen Unterschiede darin, daß die Eingriffsregeln nicht permanent, sondern nur bei Eintritt eines zuvor definierten kritischen Zustandes angewendet und nicht vor Ablauf einer gesetzten Frist wiederholt werden. Außerdem können Maßnahmen, die für positive und negative Soll-Ist-Abweichungen gelten, asymmetrisch formuliert werden.

Es soll kurz skizziert werden, in welcher Weise dieses staatliche Entscheidungsverhalten im Zuge der simulierten Lösung des Modells reproduziert wird. Dabei wird auf die Formulierung des Modells in DYNAMO-Gleichungen und -Elementen zurückgegriffen.

Das Modell nimmt alle potentiellen Politiken mit unspezifizierten (algebraischen) Parameterwerten (Reaktionskoeffizienten, Entscheidungsperioden, Interventionspunkten bzw. -zeitreihen) auf. Dazu gehört auch eine Anzahl von Selektionsparametern, die ebenso wie die übrigen Parameter erst vor jedem Run spezifiziert werden. Durch die Selektionsparameter, die nur die binären Zustandswerte 0 und 1 annehmen, wird der Computer instruiert, welche Maßnahmen zur Bekämpfung welcher abnormen Situation angewendet werden sollen.

Z.B. bedeutet 'Eins': Anwendung der Politik A bei Überschreitung des spezifizierten Eingriffspunktes B, 'Null' bedeutet: keine Anwendung von A für diesen Fall.

Im Anwendungsfalle vergleicht der Computer nach jedem Berechnungs-Intervall den laufenden Wert der zu kontrollierenden Variablen mit den (in der Zeit konstanten oder variablen) Eingriffspunkten. Sobald die Differenz eine Überschreitung des oberen oder Unterschreitung des unteren Punktes anzeigt, wird die kompensierende Politik eingesetzt.

Je nachdem, wie die Differenz nach Ablauf der Entscheidungsperiode ausfällt, erfolgt die Modifizierung oder Einstellung der Aktion.

Auf diese Weise kann ein einfacher Entscheidungskalkül mit Hilfe der elementaren Operation des Vergleichs im Computer nachvollzogen werden.

5.4 'Strategische' Programme durch Sensibilitätsanalysen

5.41 Experimentelle Variationen

Das Interesse des wirtschaftspolitischen Praktikers gilt in besonderem Maße den Instrumenten, die vielfach gegen Störungen und unerwünschte Entwicklungen angewandt werden, deren Wirkungsweisen aber zumeist nur partiell und kurzfristig bekannt sind. Experimente am Computermodell des Wirtschaftssystems zeigen die Auswir-

kungen staatlicher Aktivitäten auf viele Bereiche und über einen längeren Zeitraum, darüber hinaus die kombinierten Effekte parallel angewandter Maßnahmen.

Experimentelle Tests dieser vorwiegend der langfristigen Systemstabilisierung dienenden Eingriffe können sich im einzelnen auf die Erprobung qualitativ verschiedener Maßnahmen und ihrer Kombinationen, auf die Variation von Eingriffspunkten, an denen staatliches Handeln ausgelöst wird, auf alternative Werte der wirtschaftspolitischen Reaktionsparameter, auf die Länge der Entscheidungsperiode und schließlich auf variierte Systembedingungen, unter denen die strukturellen Verhaltensparameter und die äußeren Bedingungen eine wichtige Rolle spielen, erstrecken.

5.411 Programmparameter

Der erste Teil der Tests gilt den stabilisierenden Eigenschaften der Maßnahmen unter konstanten, standardisierten Systembedingungen. Zunächst sind qualitativ verschiedene Maßnahmen zu formulieren und ihre Einflüsse auf das Systemverhalten zu untersuchen. Dabei sollte man den tolerierten Abweichungsspielraum, den Bereich also, der noch keine korrigierenden Aktionen auslöst, testweise variieren und die dadurch bewirkten Veränderungen der generierten Zeitreihen beobachten. Daraus lassen sich Anhaltspunkte gewinnen, bei wieviel Abweichung vom Ziel man zweckmäßig mit einer kompensierenden Politik eingreift.

Von großer Bedeutung für die stabilisierende Wirkung einer Politik ist der numerische Wert des Reaktionskoeffizienten, der die Stärke der Reaktion als Proportion der Soll-Ist-Abweichung ausdrückt. Während einerseits ein zu niedriger Wert dieses politischen Parameters eine Wiederanpassung an die angestrebte Entwicklung erschwert oder ganz vereitelt, letzteres, wenn induzierte systemimmanente Gegeneffekte neutralisierend wirken, führt andererseits ein zu hoher Koeffizient und damit eine zu intensive Anpassung zu zusätzlicher Instabilität in Form von (möglicherweise expansiven) Oszillationen. Für Handlungen, die auf Informations-Feedback beruhen, ist diese Problematik charakteristisch. ¹⁾

Sehr ähnliche Fragen wirft die Bestimmung der Entscheidungsperiode auf, innerhalb deren eine einmal gestartete Aktion in unveränderter Weise beibehalten wird. Eine lange Periode, während der keine Anpassung der Politik an zwischenzeitlich eingetretene Situationsänderungen erfolgt, kann ebenfalls bewirken, daß die Aktion 'über das Ziel hinausschießt' und nach der Korrektur in das andere Extrem verfällt.

Es kommt deshalb bei der experimentellen Spezifizierung sowohl der Reaktionskoeffizienten wie der Länge der

1) Vgl. Wiener, Norbert, "Kybernetik", 2. revid. u. ergänzte Auflage, Düsseldorf-Wien 1963, Kapitel IV (Rückkopplung und Schwingung), insbesondere S. 160 ff.

Entscheidungsperiode darauf an, jenen mittleren Wertebereich der Parameter herauszufinden, der am wahrscheinlichsten die gesuchten Stabilitätseigenschaften aufweist.

5.412 Systembedingungen

Alle bisher erörterten Testmöglichkeiten bezogen die Bedingungen, unter denen (und auf die) die staatlichen Aktivitäten wirken, nicht explizit ein.

Da aber weder die Strukturparameter noch die zukünftigen exogenen Einwirkungen (z.B. Bevölkerungswachstum) für den Planungszeitraum als hinreichend bekannt angenommen werden können, sind die politischen Programme auch daraufhin zu prüfen, ob sie unter veränderten Systembedingungen wesentlich andere Erfolgseigenschaften aufweisen.

Die meisten Strukturparameter bringen Verhaltensweisen, mithin das aggregierte Anpassungsverhalten der Wirtschaftseinheiten an Datenänderungen¹⁾ zum Ausdruck. Der Erfolg einer staatlichen Maßnahme, die diese Daten bewußt verändert, hängt nun entscheidend davon ab, wie stark oder schwach die Individuen auf die Maßnahme reagieren, also von der Größe der Verhaltensparameter.

Schrittweise kleine Änderungen dieser Parameterwerte von Run zu Run erweisen sich für Verhaltensfunktionen als sinnvoll, für die wenig empirisches Material vor-

1) Der Begriff 'Datum' ist hier im einzelwirtschaftlichen, nicht gesamtwirtschaftlichen Sinne zu verstehen.

gelegen hat und deren Koeffizienten deshalb auf mehr oder weniger groben Schätzungen basieren. Variiert man solch einen Wert in der Nähe des (a priori) plausibelsten Wertes nach oben und unten und registriert die Verhaltensänderung der wichtigen Systemvariablen, so erkennt man, wie schwerwiegend eventuelle Fehler in der Parameterschätzung zu beurteilen sind.

Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sich für einige Parameter eine Art (nicht im streng statistischen Sinne zu verstehendes) 'Konfidenzintervall' ergibt, ein numerischer Bereich, innerhalb dessen unterschiedliche Spezifizierungen des Parameters nicht zu 'signifikanten' Änderungen der Zeitreihenergebnisse führen. Der Grund liegt auch hier in systemimmanenten Feedback-Mechanismen, wie sie für eine komplexe, interdependente Struktur in besonderem Maße charakteristisch sind. Diese selbst-korrigierende Fähigkeit des Systems ist es, die bei geringfügigen Änderungen oft eine weitgehende indirekte Kompensation bewirken kann.

Zusätzliche empirische Forschungen bezüglich der nur grob geschätzten Parameterwerte sind dann vor allem auf die Restmenge der Parameter, die kein 'Konfidenzintervall' aufweisen, zu konzentrieren; denn bei ihnen können schon geringe Abweichungen zu wesentlich anderen Ergebnissen führen.

Für den Politiker kann sich an die Experimente auch die Frage anknüpfen, inwieweit einzelne Strukturparameter,

eventuell durch psychologische Beeinflussung der Wirtschaftseinheiten (Aufklärung über die Situation, Appelle, u.ä.), veränderbar sind, statt als gegebene Bedingungen hingenommen zu werden.

Eine weitere Gruppe von Experimenten kann den 'äußeren' Bedingungen des Systems, also verschiedenen Anfangszuständen und exogenen Zeitreihen, gewidmet werden. Auch hierbei sollen - wie schon bei den 'parametrischen' Studien - sukzessive Veränderungen Aufschluß darüber geben, wie empfindlich die Ergebnisse auf Variationen dieser Bedingungen reagieren. Dadurch lassen sich mögliche Fehler, die durch ungenaue empirische Beobachtungen (Anfangszustände) und fehlerhafte Vorhersagen (exogene Reihen) entstehen, ungefähr abschätzen.

5.42 Strategische Gesichtspunkte

Man bezeichnet die erörterten Untersuchungen, die generell den Zweck verfolgen, die Reaktionsempfindlichkeit eines ökonomischen Systems gegen Bedingungsänderungen zu testen, als Sensibilitätsanalysen.

Unter dem Gesichtspunkt, daß Computermodelle primär dazu konstruiert werden, die Wirksamkeit wirtschaftspolitischer Instrumente in realistisch nachgebildeten Situationen zu testen, erlangen Sensibilitätsanalysen eine besondere Bedeutung. Erprobt man nämlich alternative wirtschaftspolitische Programme, die sich aus exogen

repräsentierten, langfristigen Strukturmaßnahmen und flexiblen, ablaufpolitischen Eingriffen zusammensetzen können, erprobt man solche Programme jeweils unter vielen hypothetischen Systembedingungen, so läßt sich durch 'trial and error' jene begrenzte Anzahl von spezifischen Ziel-Mittel-Systemen ermitteln, die ihre Wirksamkeit unter einer relativ großen Bandbreite von Bedingungen beibehält.

Solche Programme sind deshalb wertvoll, weil sie der Ungewißheit, die wirtschaftlichen Beobachtungen im allgemeinen und Prognosewerten im besonderen anhaftet, in der Weise Rechnung tragen, daß gewisse Abweichungen gegenüber den zugrundeliegenden Daten nicht zu erheblicher Beeinträchtigung oder gar Unwirksamkeit der geplanten Politik führen.

Werden insbesondere die im Programm enthaltenen Eingriffsregeln unter diesem Gesichtspunkt entwickelt und spezifiziert, wappnet man den Entscheidungsträger, der das Programm anwendet, gegen viele möglichen Situationen, die von vornherein im Entscheidungskalkül des Programmes berücksichtigt sind (vorausgesetzt natürlich, daß diese alternativen Konstellationen zuvor auf dem Computer 'durchgespielt' und für das Programm ausgewertet wurden).

In Anlehnung an die spieltheoretische Terminologie kann man solche Programme mit dem Attribut 'strategisch' versehen. ¹⁾

1) Vgl. Wiener, Norbert, "Kybernetik", 2. Aufl., Düsseldorf-Wien 1963, insbesondere das ergänzte Kapitel IX, sowie Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., pp. 203.

5.5 Empirische Überprüfung von Programmen

Da das Experimentieren mit wirtschaftspolitischen Programmen nicht unter realen Verhältnissen, sondern am Modell stattfindet, erhebt sich die wichtige Frage, inwieweit die generierten Ergebnisse mit der 'Realität' (soweit sie im ökonomischen Bereich beobachtbar ist) konfrontiert und falsifiziert werden können, ein Prüfstein, an dem jedes hypothetische System gemessen werden muß.

Konkret lautet also die Frage, ob ein spezifisches wirtschaftspolitisches Programm, das im realen System angewendet wird, zu ähnlichen Resultaten führt wie bei der Erprobung am Modell. Die Frage läßt sich auch auf die Form reduzieren: Wie realistisch ist das Modell?

5.51 Schwierigkeiten des Zeitreihenvergleiches

Die bereits angesprochene Problematik liegt darin, daß das Computermodell als langfristiges Prozeßmodell konstruiert ist und folglich mit seiner Hilfe Aussagen gemacht werden, die langfristigen Vorhersagen gleichkommen. Die Betonung liegt dabei nicht auf 'zukünftig'- es kann sich auch um eine 'nachträgliche Vorhersage' handeln - sondern auf 'langfristig', mithin auf der Länge des Zeitraumes, über den von einem Anfangszustand ausgehend die Entwicklung beschrieben werden soll.

Schon eine geringfügige Abweichung (z.B. aufgrund ungenauer Bestimmung eines Verhaltensparameters im Modell)

zwischen hypothetischem und realem System kann im Zeitverlauf kumulieren und somit zu einer wachsenden Divergenz zwischen generierten und statistisch-empirischen Zeitreihen führen.

Diese Möglichkeit wird bei Entwurf des wirtschaftspolitischen Programms insofern berücksichtigt, als ablaufpolitische Eingriffsregeln vorgesehen werden, die bei Eintritt unvorhergesehener Entwicklungen flexible Korrekturen bewirken sollen. Wird damit auch die Gefahr zunehmenden Auseinanderstrebens zwischen realer und generierter Entwicklung gebannt? Dazu sei angenommen, der Programmzeitraum umfasse 20 Intervalle à 3 Monate, und infolge einer geringfügigen 'Fehlspezifizierung' des Modells werde der erste politische Eingriff im Realsystem nach 6 Intervallen, der gleiche Eingriff im abgebildeten System jedoch erst nach 7 Intervallen fällig. Durch den Eingriff als solchen wird zwar eine weitere Auseinanderentwicklung gebremst, es ist andererseits keine Frage, daß vom 7. Intervall ab andere, durch das unterschiedliche Eingriffs-Timing bedingte, Diskrepanzen eintreten und sich durch die Interdependenz auf alle Zeitreihen auswirken, so daß auch in diesem Falle keine Übereinstimmung nach Ablauf des Programmzeitraumes erwartet werden kann.

Folglich kann es nicht Aufgabe des Modells sein, die genaue Entwicklung der Variablenzeitreihen über einen langen Zeitraum zu erklären.

5.52 Reproduktion von Systemcharakteristika

Weil das Modell ungeeignet ist, den spezifischen Systemzustand für eine bestimmte Zukunftsperiode vorherzusagen, kann der 'Wert' des Modells nur danach beurteilt werden, inwieweit es typische Systemeigenschaften, wie sie in der Realität zu beobachten sind, reproduziert. So kann geprüft werden, ob sich empirische Oszillationen wichtiger Systemvariablen auch in den generierten Zeitreihen niederschlagen und ob Periode und Amplitude der Schwankungen für jede dieser Variablen markante Ähnlichkeiten mit den entsprechenden statistischen Reihen aufweisen. Interessant wäre es auch zu untersuchen, inwieweit die relative zeitliche Verschiebung zwischen den Zyklen der signifikanten Systemvariablen (Frage der barometrischen Indikatoren) mit empirischen Beobachtungen übereinstimmt. Dagegen wäre es eine übertriebene Forderung, auch nur annähernd eine absolute Übereinstimmung jedes Zyklus mit den Beobachtungen - und damit die konkrete Vorhersage - zu verlangen.

Betrachtet man unter den genannten Verifikationsgesichtspunkten das ökonometrische Instrumentarium, so scheint es an geeigneten Methoden, den statistischen Bestätigungsgrad der Systemcharakteristika zu messen, noch zu mangeln. Solche Methoden sind erforderlich, will man sich nicht mit einer qualitativen Beurteilung der Übereinstimmung zufriedengeben.

Ein Modell, das wesentliche Systemeigenschaften befriedigend wiedergibt, kann - bis zur empirischen Widerlegung - als geeignete Grundlage der experimentellen Erprobung wirtschaftspolitischer Programme betrachtet werden. Wegen der erheblichen Ungewisheiten sollten bei Entwurf und Erprobung solcher Programme jedoch die 'strategischen' Momente besonders beachtet werden.

6. Struktur und Verhaltenscharakteristika des komplexen Systems eines Entwicklungslandes

6.1 Gegenstand der Modellstudien

Zur Illustration der Leistungsfähigkeit der Simulationstechnik wird in diesem Hauptabschnitt auf Konstruktion und Anwendung des wahrscheinlich umfangreichsten Modells eingegangen, das je von einem Wirtschaftssystem formuliert wurde. ¹⁾ Das Modell, das ein Forscherteam am Massachusetts Institute of Technology in mehrjähriger Arbeit entwickelt hat, umfaßt 250 Strukturgleichungen (400 äquivalente DYNAMO - Gleichungen, die 3750 Maschineninstruktionen entsprechen) und repräsentiert die ökonomische Struktur einer typischen unterentwickelten Gesellschaft, speziell der indischen Wirtschaft.

Die Experimente am Modell dienen vor allem der Erforschung des 'Take - off', jener für viele Entwicklungsländer charakteristischen Umbruchphase von der traditionellen, feudalen Gesellschaftsordnung zu einer Gesellschaft, in der industrielle Fertigungsmethoden die Oberhand gewinnen und zu einem stetig wachsenden Pro - Kopf - Einkommen führen.

¹⁾ Die auf dieses Modell verwendete Forschungsarbeit hat sich in einer ganzen Serie von Publikationen, darunter 3 Dissertationen der beteiligten Wissenschaftler, niederschlagen. Die Darstellung in diesem Hauptabschnitt basiert auf dem 'working paper', das die detaillierte Spezifizierung sämtlicher Modellgleichungen enthält: Holland, E.P., Tencer, B., and Gillespie, R.W., "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", Cambridge, Mass., 1960. Außerdem zog der Verfasser das interpretierende Buch, insbesondere dessen Teile 1 und 3 heran: Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Mass., 1963.

" Die Aufstiegsperiode umfaßt den Zeitraum im Leben der Wirtschaft, wenn die alten Hinderrisse und Widerstände überwunden sind... . Die auf einen wirtschaftlichen Fortschritt drängenden Kräfte, die bisher nur begrenzte Vorstöße wagten und Enklaven der wirtschaftlichen Aktivität waren, erweitern sich und beginnen die Gesellschaft zu beherrschen. Wachstum wird die normale Bedingung. Der kumulative Prozeß wird ein Bestandteil der gesellschaftlichen Gewohnheiten und der institutionellen Struktur." 1)

Rostow schätzt diese Periode wirtschaftlichen Aufstiegs generell auf etwa zwei Jahrzehnte und datiert den Beginn dieses Stadiums für Indien auf die Jahre um 1950. 2)

Ein besonders starker Anstoß, in Indien das Unabhängigkeitsgesetz von 1947, löst den kumulativen Prozeß aus, wobei die Tatsache wesentlich ist, "daß die bisherige Entwicklung der Gesellschaft und ihrer Wirtschaft schließlich in einer positiven, andauernden und sich selbst verstärkenden Form auf den Anstoß reagiert." 3)

Die Produktionstechniken ändern sich, potentielle Erfindungen werden regelmäßiger angewendet, die Investitionsquote steigt.

1) Rostow, Walt W., "Stadien wirtschaftlichen Wachstums", 2. Aufl., Göttingen 1967, S. 22.

2) Vgl. ebenda, S. 24.

3) Ebenda, S. 55.

Der Anstieg produktiver Investitionen wird teils eine Folge spontaner Reaktionen auf ökonomische 'incentives', teils Ausdruck eines umfassenden Regierungsprogramms (Fünfjahrespläne in Indien) sein. Aufgrund der anfangs extrem niedrigen Pro - Kopf - Einkommen reichen Ersparnisse und staatliche Steuereinkünfte nicht aus, um die Investitionen zu finanzieren. Kreditfinanzierung führt zu inflationärem Druck, einem typischen Problem der beginnenden Entwicklungsphase. Verstärkt wird dieser Druck durch sektorale Engpässe und wachsende Konsumnachfrage.

Die Errichtung industrieller Produktionsanlagen und der Ausbau des realen Sozialkapitals (Eisenbahn, Nachrichtenverbindungen, Energieversorgung) erfordern zunehmend den Import von Maschinen und anderen Kapitalgütern. Da sich gleichzeitig infolge der Inflationstendenz die Exportsituation des Landes verschlechtert, tritt zum Inflations - ein Zahlungsbilanzproblem.

Darüber hinaus steht die Regierung den langfristigen Fragen der Investitionsplanung gegenüber. Soll zuerst die Kapitalgüterindustrie auf Kosten des Konsumgüterwachstums entwickelt werden? Welche Strukturierung des Sozialkapitals ist zweckmäßig? Ist es sinnvoll, die Landwirtschaft zunächst vorrangig vor den industriellen Sektoren zu entwickeln?

Das sind nur einige der Fragen, die das Forscherteam am M. I. T. durch Experimente am Systemmodell der Klärung näherbringen wollte.

6.2 Charakterisierung des Modells

Die folgende, in Anbetracht der Komplexität kurze Beschreibung des Modells muß sich auf wesentliche Züge beschränken. Nur einige für ein Computermode'll im allgemeinen und das Wachstumsmodell der indischen Wirtschaft im besonderen charakteristische Bestandteile werden detailliert bis in die Spezifizierung der Strukturgleichungen dargestellt.

Das Modell der indischen Wirtschaft ist in 6 Sektoren gegliedert: 1)

Sektor 1	Industrielle Konsumgüterproduktion
Sektor 2	Landwirtschaft
Sektor 3	Investitionsgüterproduktion
Sektor 4	Handwerkliche Konsumgüterfertigung
Sektor 5	Öffentliche Dienstleistungen des Sozialkapitals (Energie, Verkehr, Wohnungen u. a. m.)
Sektor 6	Sonstige Dienstleistungen (ohne explizite Angebotsfunktion).

Die Unterteilung basiert entweder auf unterschiedlichen Produktverwendungen bei ähnlichen Produktionsfunktionen (Sektoren 1 und 3) oder auf unterschiedlichen Produktionstechniken ('capital - output - ratios') für substituierbare Güter (Sektoren 1 und 4). Das Dienstleistungsangebot des Sektors 5 wird insbesondere durch lange Anlageperiode und große Unteilbarkeit des Sozialkapitals charakterisiert.

1) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Mass. 1963, pp. 15. Die Bezeichnungen der Sektoren wurden vom Verfasser frei übersetzt.

6.21 Nachfragesituation

Die Konsumausgaben legen die Haushalte in drei aufeinanderfolgenden Wahlentscheidungen fest.¹⁾ Zuerst wird der Nahrungsmittelbedarf bestimmt:

$$q = m + n \sqrt{\frac{y}{p}}$$

wo: q = Nachfragemenge pro Person,
 y = verfügbares Einkommen pro Person,
 p = Nahrungsmittelpreisindex,
 m, n = Parameter

Die (nichtlineare) Formulierung trägt dem 'Gesetz' von Engel Rechnung, wonach die Nahrungsmittelausgaben mit wachsendem Einkommen relativ abnehmen. Zusätzliche Determinante der aggregierten Ausgaben für landwirtschaftliche Produkte ist die (exponentiell wachsende) Bevölkerung.

In der zweiten Entscheidung teilen die Konsumenten das verbleibende verfügbare Einkommen in fixen Proportionen auf Ersparnisse, die beiden Arten von Dienstleistungen, und eine aus drei konkurrierenden Produkten bestehende Gruppe von Konsumgütern auf. Die dritte Entscheidung schließlich unterteilt den auf die vorgenannte Dreiergruppe entfallenden Einkommensteil unter Berücksichtigung der Kreuzpreiselastizitäten auf die Gruppenelemente: industriell produzierte, handwerklich gefertigte und importierte Konsumgüter.

Abgeleitete industrielle Nachfragen nach Vorprodukten, die sich nach konstanten, intersektoralen Produktionskoeffizienten (bei variabler Preisbildung) richten, sowie der

1) Vgl. Holland, E.P., Tencer, B. and Gillespie R.W., "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", Cambridge, Mass. 1960, pp. 49.

industrielle Bedarf an Kapitalgütern, proportional den Aktivitäten zur Kapazitätserweiterung in jedem Sektor, vervollständigen die Nachfragebeziehungen.

6.22 Angebotssituation

Die Angebotsstrukturen der technisierten Sektoren 1, 3 und 5 weisen typische Merkmale eines Computermodells auf. Deshalb sollen neben verbalen Erläuterungen die zugrundeliegenden Funktionen abgeleitet werden.¹⁾

6.221 Kostendeterminiertes Angebot

Geprägt wird die Angebotssituation der vorgenannten Sektoren durch technischen Fortschritt, der nicht wie in theoretischen Modellen als exogene Funktion der Zeit, sondern endogen wirkt.

Das physische Kapital jedes dieser Sektoren bemißt sich nach der Zahl der im jeweiligen Zeitpunkt vorhandenen Betriebseinheiten ('plants') durchschnittlicher Größe. Da diese 'repräsentativen' Firmen jedes Sektors wiederum in jährlichen Output - Kapazitäten (Quanten) ausgedrückt werden,²⁾ ergibt sich zwangsläufig eine physische 'capital-

1) Vgl. ebenda, pp. 70.

2) Der tiefere Sinn dieser Konzeption liegt darin, daß der Faktor Arbeit in Indien redundant, der Faktor Realkapital hingegen knapp ist. Folglich kann vorhandenes Realkapital leicht mit den erforderlichen Arbeitskräften 'besetzt' werden. Das impliziert die Annahme, daß die industrielle Produktion nur durch den Faktor Kapital relevant determiniert wird.

output - ratio' von 1.

Als Maß des sektoralen technischen Fortschritts bleibt somit die Arbeitsproduktivität bzw. die 'labour - output - ratio'.

Angenommen wird nun, daß jede neu hergestellte Produktionsanlage ('plant') mit einer niedrigeren 'labour - output - ratio' operiert als die vorhergehende, weil sich die mit Entwurf, Konstruktion und Einsatz jeder Anlage erworbenen Fähigkeiten und Erfahrungen zunehmend 'arbeitssparend' auswirken.

$$(1) \quad LPQM_i = \frac{LPQN_i}{1 + (MU_i)(KP_i)} \quad \text{mit } i = 1, 3 \text{ oder } 5$$

wo: $LPQM_i$ = Labour - output - ratio der neuesten aktiven Produktionsanlage,

$LPQN_i$ = Labour - output - ratio der im Zeitpunkt $t = 0$ modernsten aktiven Anlage (Anfangsbedingung),

KP_i = Gesamtzahl (Zeitintegral) aktivierter Anlagen seit $t = 0$ ('plants'),

MU_i = Parameter zwischen 0 und 0,1 ; Proportion, um die die 'labour - output - ratio' jeder neuen Anlage sinkt.

Da das laufende Angebot des Sektors i nicht nur mit der modernsten, sondern auch mit weniger effizienten 'plants' produziert wird, läßt sich die labour - output - ratio der marginalen Produktionsanlage definieren, die gerade noch eingesetzt werden muß, um die geplante laufende Produktion zu realisieren.

$$(2) \quad LPQQ_i = \frac{LPQN_i}{1 + (MU_i)(KP_i - Q_i)} \quad \text{mit } i = 1, 3 \text{ oder } 5$$

wo: $LPQQ_i$ = Labour - output - ratio der am wenigsten effizienten aktiven Betriebseinheit.

Q_i = Output des Sektors i (Quanten¹⁾ pro Jahr).

Multipliziert man die 'labour - output - ratio' der marginalen aktiven Kapitaleinheit mit dem Lohnsatz W_i des betreffenden Sektors und addiert die Kosten der Vorprodukte (Bezüge von anderen Sektoren), dann erhält man die totalen variablen Kosten PA_i , die der produktive Einsatz der marginalen Betriebseinheit verursacht.

$$(3) \quad PA_i = \sum_j (P_j)(Q_{ji}) + (W_i)(LPQ_i)$$

mit $i = 1, 3, 5$ und $j = 1, 2, 3, 4, 5$,

wo: PA_i = Totale variable Kosten des marginal produzierenden Betriebes (Rupien pro Quantum),

P_j = Preis der von Sektor j bezogenen Güter (Rupien pro Quantum),

Q_{ji} = Input - Output - Koeffizient,

W_i = Sektoraler Lohnsatz (Rupien pro Arbeitseinheit).

Formuliert man nun die totalen variablen Kosten gemäß Beziehung (3) unter Berücksichtigung von (2) für alternative Outputquanten Q_i des Sektors i , so läßt sich die so entstehende Kurve als kurzfristige sektorale Angebotskurve interpretieren, dargestellt im flachen (kostendeterminierten) Segment der Kurve a in Abbildung 6²⁾ Der Anstieg dieses Kurvenabschnitts ist Ausdruck der wachsenden 'labour - output - ratio', die die Hinzunahme von

1) Unter einem 'Quantum' ist die jährliche Outputkapazität einer durchschnittlichen Betriebseinheit ('plant') zu verstehen.

2) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., p. 23.

sukzessive weniger effizienten Betrieben für größere Outputs mit sich bringt (Beziehung 2).

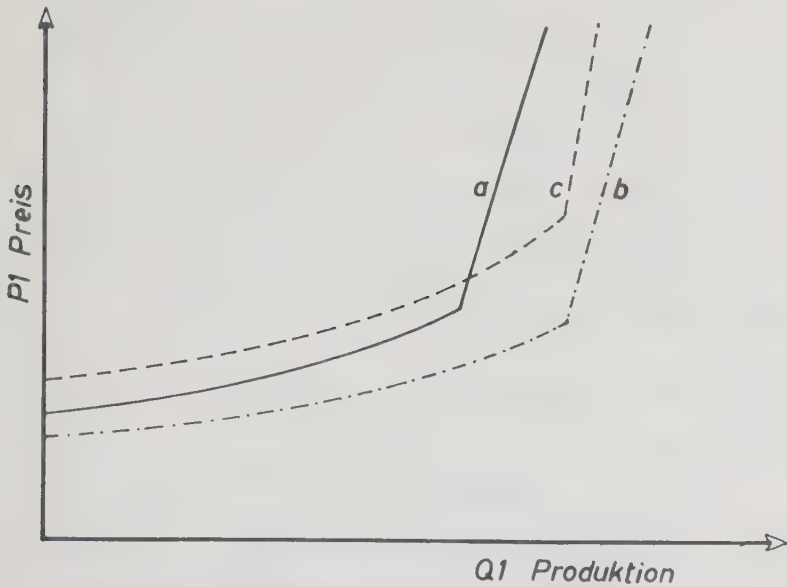


Abbildung 6: Kurzfristige Angebotssituationen

Der (linke) Schnittpunkt des Segments mit der Preisachse markiert den neuesten und damit effizientesten, der rechte Endpunkt des flachen Segments den ältesten, kurz vor der Verschrottung stehenden und somit ineffizientesten vorhandenen Produktionsbetrieb. Kleine Mengen werden von den kostengünstigsten Betrieben hergestellt, während die weiter rechts dargestellten Betriebe ungenutzt bleiben.

6.222 Angebot bei Knappheit

Das steile Segment der Kurve a (Abbildung 6) spiegelt die Angebotssituation der Sektoren 1, 3 bzw. 5, wenn außerhalb der 'nominellen' Kapazität produziert wird. Alle vorhandenen Betriebe sind im Einsatz. Bereits geringe Mengenausdehnungen sind mit starkem Preisanstieg verbunden. Das flache, kostendeterminierte Angebotssegment geht an der Kapazitätsgrenze diskontinuierlich in ein steiles, durch Knappheit bestimmtes Angebotssegment über. Für die Angebotspreisbildung bei Knappheit gilt: ¹⁾

$$(4) \quad PEX_i = (J_i)(PA_i) \left(\frac{Q_i - QB_i}{QB_i} \right) \quad \text{mit } i = 1, 3 \text{ oder } 5$$

wo: PEX_i = Preiszuwachs bei Überschäftigung,

QB_i = Nominelle Kapazität (Quanten pro Jahr),

J_i = Parameter, der den (konstanten) Prozentsatz des Preiszuwachses für Produktionen, die die nominelle Kapazität übersteigen, anzeigt.

Der Marktpreis des Sektors setzt sich folglich aus zwei Bestandteilen, dem kostendeterminierten und dem knappheitsdeterminierten, zusammen: ²⁾

$$(5) \quad P_i = PA_i + PEX_i \quad \text{mit } i = 1, 3 \text{ oder } 5, \quad \text{wobei gilt:}$$
$$PEX_i = 0 \quad \text{wenn } Q_i < QB_i.$$

1) Vgl. Holland, E.P., Tencer, B., and Gillespie, R.W., "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", a.a.O., p.73. Die dort zusätzlich verwendete Exponentialverzögerung wurde der Übersichtlichkeit wegen hier weggelassen.

2) Welcher der alternativen Angebotspreise (gesamte Kurve a) zum Marktpreis wird, hängt natürlich von der Nachfragesituation ab.

Die gesamte Angebotskurve a erklärt streng genommen nur eine Augenblickssituation. Einige Zeit später repräsentiert Kurve b in Abbildung 6 die Angebotslage. Der ursprüngliche Schnittpunkt der Angebotskurve mit der Preisachse hat sich in der Zwischenzeit nach rechts verlagert, während ein neues Segment links angefügt wurde, das die gesunkene 'labour - output - ratio' der neu hinzugekommenen Kapitaleinheiten ausdrückt. Gleichzeitig ist infolge physischen Verschleißes alter Betriebseinheiten das rechte Teilstück des kostendeterminierten Angebotssegments 'abgestorben'. Dieser Prozeß der Kurvenverlagerung nach rechts und nach unten (von a nach b) findet selbst bei einer Nettokapitalbildung von Null aufgrund technisch verbesserter Ersatzinvestitionen statt.

Begleitete jedoch diesen Verlagerungsvorgang eine Erhöhung der totalen variablen Kosten PA_i (z.B. durch zwischenzeitliche Lohnerhöhungen von 50 %), dann repräsentiert Kurve c die neue Angebotslage, die gegenüber Kurve b (um den halben vertikalen Abstand) nach oben verschoben ist.

Zur Abrundung sei noch kurz auf das Angebot der nicht-industriellen Sektoren eingegangen.

Das landwirtschaftliche Angebot (Sektor 2) ist vollkommen unelastisch. Es wird angenommen, daß die Farmer keinen Preis als niedrig genug ansehen, als daß sie nicht alles Land bebauten. Die Kapazitätsgrenze wird durch die Ansammlung an fruchtbarem, urbar gemachtem Boden determiniert.

In der handwerklichen Produktion (Sektor 4) fehlt der technische Fortschritt. Die Angebotskurve verläuft deshalb bis zur 'nominellen' Kapazitätsgrenze waagerecht und geht diskontinuierlich in einen weniger steilen Abchnitt als in den technisierten Sektoren über.

6.23 Preise, Profite, Löhne

Preise und Mengen werden in jedem Zeitpunkt aus dem Zusammenwirken der Angebots- und Nachfragefunktionen bestimmt.

Bruttoprofite entstehen in den Sektoren 1, 3, 4 und 5. Sie ergeben sich als Differenz zwischen Marktpreis und den variablen Kosten, wie sie im Durchschnitt aller Firmen ('plants') anfallen. ¹⁾

Die Lohnbestimmungsgleichung²⁾ in den industriellen Sektoren 1 und 3 basiert auf zwei Konzepten. Sobald die durchschnittlichen Nettoprofite in einem dieser Sektoren über einer Mindestrate liegen, verhandeln die Gewerkschaften die Löhne nach oben. Außerdem gleicht sich der jeweils niedrigere Lohnsatz dem höheren des anderen Sektors tendenziell an.

$$(6) \quad \frac{d(W_i)}{dt} = \left(\frac{WC_i}{WD_i} \right) \left(\frac{PIAV_i}{LPQA_i} \right) + \left(\frac{1}{MD_i} \right) (W_j - W_i)$$

mit $j = 3$, wenn $i = 1$ und vice versa.

1) Die 'marginale' Firma erzielt nach diesem Konzept einen Bruttogewinn von Null, während alle übrigen Betriebe positive Bruttogewinne verbuchen.

2) Vgl. ebenda, p. 76.

- wo: W_i = Sektoraler Lohnsatz (Rupien pro Arbeitseinheit),
 PIA_{Vi} = Durchschnittliche Nettoprofitrate eines Sektors (Rupien pro Kapitaleinheit),
 LPQ_{Ai} = 'Labour - output - ratio' der durchschnittlich effizient produzierenden Anlage eines Sektors,
 W_{Ci} = Proportionalitätsparameter, der die Stärke der Lohnreaktion auf Profitsatzänderungen ausdrückt,
 $\frac{1}{MD_i}$ = Grad der intersektoralen Mobilität (MD_i = Zeitkonstante der Exponentialverzögerung),
 WD_i = Zeitkonstante, die die Verzögerung zwischen Lohn- und Profitsatz definiert.

Gleichung (6) ist der Restriktion $\frac{d(W_i)}{dt} \geq 0$ unterworfen, d. h., der Lohnsatz kann nur steigen, nicht fallen.

Der Prozeß ist irreversibel.

Der Lohnsatz in Sektor 5 entspricht dem im Sektor 3.

Da sich den Handwerkern und Kleinunternehmern des Sektors 4 das Farmerleben als Alternative bietet, besteht eine enge positive Korrelation zwischen dem Lohnsatz des Sektors 4 und dem Preis landwirtschaftlicher Produkte.

In der Landwirtschaft wird wegen der großen Zahl von Familienbetrieben nicht zwischen Löhnen und Profiten unterschieden.

6.24 Kapazitätserweiterungen

Die Kapazitätsgrenzen (KBi) der Sektoren verschieben sich durch Kapitalbildung permanent nach außen.

Das Ausmaß, in dem neue Kapitalprojekte in Angriff genommen werden, richtet sich in den Sektoren 2, 4 und 5 nach (exogenen) staatlichen Plänen. Damit wird - abgesehen von direkten staatlichen Investitionen in diesen Sektoren - der staatlichen Einflußnahme auf die privaten Investitionen Rechnung getragen.¹⁾

Dagegen bleibt die staatliche Rolle in den industriellen Sektoren 1 und 3 auf die Gewährleistung von (im voraus festgelegten) Mindestraten ('floors') der Realkapitalbildung beschränkt. Die wesentlichen Aktivitäten zur Kapazitätserweiterung beruhen in der Industrie auf privaten Investitionsentscheidungen, die an der Profitrate der jeweils neuesten und damit effizientesten und gewinnträchtigsten Kapitaleinheit ('plant') des Sektors orientiert sind.

Diese 'Startraten' für Kapitalprojekte führen erst nach Ablauf der Reifungszeit ('gestation time') zur effektiven

1) Die indirekte Steuerung privater Investitionen über Anreize ('incentives') bzw. Belastungen ('disincentives') muß in den exogenen staatlichen Plänen ausgedrückt werden, weil weder geld- und kreditpolitische Instrumente noch externe Ersparnisse ('external economies') der privaten Investoren durch z.B. staatliche Infrastrukturverbesserungen explizit im Modell enthalten sind - ein gewisser Mangel des Modells.

Kapazitätserweiterung. Dargestellt wird die Zeitspanne des Reifungsprozesses durch die Kombination einer Periodenverzögerung von $(G_i - E_i)$ Jahren mit einer dreifachen Exponentialverzögerung: ¹⁾

$$(7) \quad (RKP_i) = \left(\frac{1}{E_i D + 1} \right)^3 RKP_{Ai}$$

$$(8) \quad (RKP_{Ai})_t = (RKS_i)_t - (G_i - E_i)$$

wo: RKP_i = Rate der Eingliederung neuer Kapitaleinheiten in den Produktionsprozeß ('plants' pro Jahr),

RKS_i = 'Startrate' neuer Kapitalprojekte ('plants' pro Jahr),

RKP_{Ai} = Zwischenvariable,

E_i = Zeitkonstante der dreifachen Exponentialverzögerung (Jahre),

G_i = durchschnittliche Reifungszeit ('gestation time') der Projekte (Jahre).

Die Zeitspanne $(G_i - E_i)$ repräsentiert folglich die Mindestreifungszeit, nach deren Ablauf die ersten, vor $(G_i - E_i)$ Jahren begonnenen Projekte fertiggestellt sind. Erst nach $(G_i - E_i)$ Jahren setzt mithin die Exponentialverzögerung ein, die die statistische Streuung der Reaktion (einer Eingliederung der Projekte in die aktive Produktion) verkörpert. Diese Form der kombinierten Verzögerung war in Abbildung 3 (Seite 22) dargestellt worden. Dem dort eingezeichneten Zielwert entspricht hier die 'Startrate' RKS_i , auf die die 'Produktionserweiterungsrate' RKP_i gemäß der dort abgebildeten Anpassungskurve reagiert.

1) Vgl. ebenda, pp. 77.

Nunmehr läßt sich die Gesamtzahl der Projekte, die sich in der Reifungsphase befinden (KG_i), leicht bestimmen: ¹⁾

$$(9) \quad KG_i = KG_{i,t=0} + \int_0^t (RKS_i) dt - \int_0^t (RKP_i) dt$$

mit $i = 1, 2, 3, 4$ oder 5 .

Geht man davon aus, daß sich die durch den Reifungsprozeß verursachten Lohn- und Materialkosten gleichmäßig über die Reifungsjahre G_i verteilen, so können die (monetären) Investitionsausgaben pro Jahr angegeben werden. ²⁾

$$(10) \quad INV_i = (PK_i) \left(\frac{KG_i}{G_i} \right)$$

mit $i = 1, 2, 3, 4$ oder 5 ,

wo: INV_i = Monetäre Bruttoinvestition des Sektors (Rupien pro Jahr),

PK_i = Kapitalkosten (Rupien pro 'plant'),

KG_i = Gesamtzahl der Projekte in der Reifungsphase ('plants').

Die fertiggestellten und in die aktive Produktion eingesetzten Kapitaleinheiten erweitern die Sektorkapazität. Die Lebensdauer dieser Produktionsanlagen wird in der gleichen Weise ausgedrückt wie die Reifungszeit, als Kombination aus Perioden- und dreifacher Exponentialverzögerung zwischen Eingliederung und Verschrottung, nur mit anderen Parametern.

6.25 Außenhandel

Das Exportvolumen setzt sich in festen Proportionen aus Produkten der Sektoren 1 und 2 zusammen. Es wird eine konstante (exponentiell ausgedrückte) Preiselastizität der Auslandsnachfrage angenommen. ³⁾

1) Vgl. ebenda, p. 78.

2) Vgl. ebenda, p. 78.

3) Vgl. ebenda, p. 142.

$$(11) \quad QEX8 = (CHI8)(PF8)^{ELEX8} \quad (12) \quad (PF8) = \left(\frac{P8}{XR}\right)$$

wo: QEX8 = Exportnachfragemenge,
 PF8 = Exportpreis in Auslandswährung,
 CHI8 = Parameter, der durch Anfangsbedingungen und den für ELEX8 angenommenen Wert bestimmt wird,
 ELEX8 = Preiselastizität der Exportnachfrage,
 XR = Wechselkurs (Rupien pro Dollar),
 P8 = Exportpreis in Inlandswährung (gewogener Durchschnitt aus den variablen Preisen der Sektoren 1 und 2).

Die Importe verteilen sich auf vier Produktarten: 1)

a) Nahrungsmittelimporte.

Sie werden in einer Weise staatlich gesteuert, daß sie proportional zur Kapazitätsausdehnung in der Landwirtschaft abnehmen und nach etwa 10 Jahren durch diese fortschreitende Substitution von Auslands- durch Inlandsangebot eliminiert sind.

b) Importe nicht-landwirtschaftlicher Konsumgüter.

Sie konkurrieren mit den inländischen Erzeugnissen der Sektoren 1 und 4.

c) Importe von Substituten für inländisch im Sektor 3 produzierte Kapitalgüter. Die importierte Menge ist eine Funktion der Preisdifferenz zwischen inländischen und äquivalenten ausländischen Kapitalgütern.

d) Importe von Vorprodukten für die Kapitalgüterproduktion im Sektor 3. Sie werden in fester Proportion (Produktionskoeffizient) zum Ausstoß des Sektors 3 nachgefragt.

Der Saldo der Zahlungsbilanz (Leistungsbilanz) ist die Resultante aus den - unabhängig voneinander determinierten - (bewerteten) Export- und Importströmen.

1) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., p. 28.

6.26 Investitionsregulierungen

Schwierigkeiten, denen die wirtschaftspolitischen Entscheidungsträger während der Entwicklung des Wirtschaftssystems gegenüberstehen können, liegen vor allem in einer zu niedrigen Wachstumsrate, einer zu starken Inflations-tendenz und einer defizitären Zahlungsbilanz.

Damit sich die Politiker gegen diese Probleme wappnen können, wird für das Systemmodell eine ganze Reihe staatlicher Aktivitäten formuliert und ausprobiert, die vorwiegend Stabilisierungscharakter tragen, sich mithin auf Informations - 'feedback' gründen: Investitionsbeschränkungen, Lohnrestriktionen, variabler Einkommenssteuersatz, Zollerhebungen, Währungsabwertungen, Importquoten u. a. m.

Eine zentrale Stellung in der Systemstabilisierung nimmt die Steuerung der privaten Investitionen ein, auf die deshalb ausschließlich und detailliert im Rahmen dieser Arbeit eingegangen wird.¹⁾

Zu Beginn ist eine in der Modellformulierung begründete Einschränkung ins Gedächtnis zu rufen. Das Modell ignoriert monetäre Einwirkungen weitgehend. Insofern bleibt offen, wie die staatlichen Entscheidungen zur Regulierung privater Investitionen konkret realisiert werden sollen, ob mittels restriktiver oder expansiver Geldpolitik, Subventionen, Investitionsbesteuerung oder anders. Worauf die Untersuchung abstellt, ist die Wirkungsweise bestimmter - algorithmisch formulierter - Entscheidungsregeln zur Beeinflussung der privaten Realinvestitionen.

1) Vgl. Holland, E.P., Tencer, B., and Gillespie, R.W., "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development", a.a.O., pp.165.

Investitionsprobleme können in zweierlei Hinsicht auftreten: Zu niedrige Investitionen verlangsamen das Wachstum, zu hohe Investitionen können Inflationsdruck und (oder) Devisenabfluß erzeugen.

6.261 Investitionslücke

Das Problem einer Investitionslücke¹⁾ wird für die industriellen Sektoren 1 und 3 definiert, weil nur in diesem Bereich die Realkapitalbildung auf Entscheidungen privater Unternehmer basiert. Für alle übrigen Sektoren werden (alternative) staatliche Investitionspläne über den gesamten Entwicklungszeitraum im voraus festgelegt. Für die Sektoren 1 und 3 hingegen existieren solche exogenen Pläne lediglich in Form von Mindeststraten ('floors'), die aber durch private Investitionsentscheidungen überboten werden können. Sinken die privaten Investitionen in irgendeinem Zeitpunkt unter das sektorale Minimum (Investitionslücke), wird angenommen, daß der Staat entweder durch eigene Investitionstätigkeit oder durch (vermittels 'incentives') induzierte private Investitionen auf jeden Fall die für den betreffenden Industriezweig vorgesehene Mindestrate realisiert und damit die Investitionslücke schließt.

Es gilt also:

$$(13) \quad PRKS_i = \max\{DKS_i; FRKS_i\} \quad \text{mit } i = 1, 3$$

1) Vgl. ebenda, pp. 166.

wo: PRKSi = Geplante 'Startrate' für Kapitalprojekte
('plants' pro Jahr),
DRKSi = Gewünschte 'Startrate' der privaten Unternehmer
('plants' pro Jahr),
FRKSi = Vom Staat programmierte Mindeststartrate
('plants' pro Jahr).

Die jeweils größere der gewünschten oder minimalen Investitionsrate wird so zur geplanten Rate, die wiederum in den meisten Fällen auch als tatsächliche Rate (RKSi) fungiert, es sei denn, es existiere eines der im nächsten Abschnitt behandelten andersgearteten Probleme, die Investitionsrestriktionen hervorrufen.

6.262 Investitionsüberschuß

Ein Investitionsüberschuß¹⁾ wird angenommen, wenn eines der folgenden Probleme eintritt:

zu hohe Inflationsrate oder zu großes Zahlungsbilanzdefizit.

Die Alternative einer Reduktion der Konsumausgaben zur Dämpfung der Inflation ist zumindest im Anfangsstadium unrealistisch, weil der private Verbrauch kaum das Existenzminimum überschreitet.

Die Milderung des Devisenabflusses durch Investitionsbeschränkungen geschieht direkt über den Importkoeffizienten der inländischen Kapitalgüterproduktion, indirekt über den durch die Ausgabenreduktion verringerten Inflationsdruck, der die Konkurrenzsituation des Landes auf dem Weltmarkt und damit die Zahlungsbilanz verbessert. Inflations- wie Devisenproblem werden übersektoral, d.h.

1) Vgl. ebenda, pp. 167.

global für die ganze Wirtschaft definiert. Danach liegt ein Inflationsproblem vor, sobald die jährliche Zuwachsrates des inländischen Konsumgüterpreisniveaus (gemessen anhand eines laufend ermittelten gewogenen Preisindex der Sektoren 1, 2, 4 und 5) ein staatlich fixiertes Limit übersteigt. Die Zahlungsbilanzkrise existiert, wenn der Devisenvorrat nicht mehr ausreicht, das laufende Zahlungsbilanzdefizit eine festgesetzte Zeitspanne lang zu finanzieren. Investitionsrestriktionen können nun als Reaktion auf eines von beiden Problemen oder auf beide Problem gemeinsam ausgelöst werden, je nach Spezifizierung der folgenden Selektionsparameter:

- CINF = 1 Investitionsrestriktionen sind zur Inflationsdämpfung anzuwenden;
oder = 0 keine Restriktionen für diesen Zweck.
- CFXRQ = 1 Investitionsrestriktionen sind zwecks Devisenersparnis anzuwenden;
oder: = 0 keine Restriktionen für diesen Zweck.

Das Verfahren der Investitionsregulierung läuft so ab, daß mit Eintritt des Problems eine Obergrenze ('ceiling') der Investitionsausgaben festgelegt wird, die PC_i mal 100 %, z.B. 90 %, der momentanen Ausgabenhöhe ausmacht. Diese Obergrenze bleibt eine konstante Periode lang bestehen, während der die privaten Investitionen auf irgendeine (explizit in diesem Modell nicht formulierbare) Weise graduell gesenkt werden. Existiert das Problem nach Ablauf der Periode immer noch, senkt der Staat erneut die Obergrenze der privaten Investitionen auf PC_i mal 100 % des nunmehr bestehenden tatsächlichen Niveaus, woraufhin wiederum eine Periode lang die privaten Investitionen erschwert werden. Dieses Verfahren setzt sich periodisch so lange fort, wie ein Inflations- oder Devisenproblem existiert.

Geht nun der Politiker vernünftigerweise davon aus, daß die bereits im Reifungsstadium befindlichen Kapitalprojekte auch vollendet werden, so bleibt ihm als zu beeinflussende Größe die 'Startrate' neuer Projekte, die sich aus den in Abschnitt 6.24 definierten Investitionsausgaben ableiten läßt:

$$(14) \quad INV_i = (PK_i) \left(\frac{KG_i}{G_i} \right) \\ \text{mit } i = 1, 3 \text{ oder } 5$$

wo: INV_i = Monetäre Bruttoinvestition des Sektors (Ru-pien pro Jahr),
 PK_i = Kapitalkosten (Rupien pro 'plant'),
 KG_i = Gesamtzahl der Projekte in der Reifungsphase ('plants').

Die Variable KG_i ist so definiert:

$$(15) \quad KG_i = KG_{i=0} + \int_0^i (PRKS_i - RKP_i) dt$$

wo: $PRKS_i$ = Geplante 'Startrate' neuer Kapitalprojekte ('plants' pro Jahr),
 RKP_i = Rate der Eingliederung von Projekten in den Produktionsprozeß ('plants' pro Jahr).

Betrachtet man der Einfachheit halber die Kapitalkosten PK_i als konstant, ¹⁾ dann ergibt sich durch Differentiation von Beziehung (14) unter Berücksichtigung von (15):

$$(16) \quad \frac{d(INV_i)}{dt} = \left(\frac{PK_i}{G_i} \right) (PRKS_i - RKP_i)$$

1) Diese Annahme wird vom Verfasser dieser Arbeit zur Vereinfachung vorgenommen. Vgl. ebenda, pp. 170.

oder nach der 'Startrate' aufgelöst:

$$(17) \quad PRKS_i = \left(\frac{d(INV_i)}{dt} \right) \left(\frac{G_i}{PK_i} \right) + RKP_i .$$

Diese geplante private Startrate wird nun periodenweise (wie oben beschrieben) so beschränkt, daß sie kleiner als (oder höchstens so groß wie) die folgendermaßen definierte regulierte Startrate ist:

$$(18) \quad CRKS_i = \left(\frac{1}{UPSi} \right) (EINV_i) \left(\frac{G_i}{PK_i} \right) + RKP_i$$

mit $i = 1, 3 \text{ oder } 5$,

(19) wobei: $EINV_i = (CINV_i - INV_i) \leq 0$
und: $UPSi$ = Zeitkonstante der Verzögerung bei Regulierung der Startrate .

Die Variable $EINV_i$ ('error term') zeigt die Differenz zwischen der für eine Periode festgesetzten Obergrenze und den sich stetig ändernden tatsächlichen Investitionsausgaben.

Aufgrund der Substitution der geplanten privaten (17) durch die staatlich regulierte Startrate (18), die an eben diesem negativen Fehlerterm (19) proportional orientiert ist, vollzieht sich die beabsichtigte Beschneidung der Startrate und damit der privaten Investitionsausgaben. Mit sinkenden Investitionsausgaben wiederum verkleinert sich auch der Fehlerterm und damit die Korrektur der Startrate. Auf diese Weise wird eine graduelle, verzögerte Annäherung der tatsächlichen Investitionsausgaben an die festgesetzte Obergrenze erreicht.

Die Frage nach dem konkreten Mittel zur Reduzierung

der privaten Investitionen, das sei noch einmal betont, bleibt offen. Mit Beziehung (18) wird lediglich ein auf Informations - Feedback beruhender Entscheidungsverfahren beschrieben, der eine stabile Anpassung an das gesetzte Ziel gewährleistet.

Die zusätzliche- nicht weniger interessante - Mittelspezifizierung müßte einer Modellerweiterung auf monetäre Faktoren vorbehalten bleiben.

6.27 Computermodellstrukturen

Richtet man den Blick auf das modellierte Gesamtsystem, in den vorangegangenen Abschnitten in Kurzdarstellung mit Detailbeschreibung einiger herausragender Strukturen wiedergegeben, dann fällt eine ganze Reihe typischer Merkmale eines Computermodells ins Auge.

Neben der charakteristischen Komplexität (250 Strukturgleichungen in konventioneller Schreibweise) zeichnet das Modell eine beachtliche Menge nichtlinearer Verhaltensbeziehungen aus, von denen die sinkende marginale Neigung, Nahrungsmittel zu konsumieren, die exponentiell formulierte Exportbeziehung (konstante Nachfrage - Preis - Elastizität), die endogene Behandlung des technischen Fortschritts (die formal einer multiplikativen Verbindung von endogenen Variablen entspricht) und die Reaktionsbeziehung zwischen Löhnen und Profiten in der Industrie (die eine Division von Modellvariablen enthält) noch einmal stellvertretend genannt seien.

Die zuletzt erwähnte Lohnsatzbestimmungsgleichung weist außerdem irreversible, nur steigende, Entwicklungsrichtung auf, von den Autoren als Sperrhaken - ('ratched') Effekt bezeichnet.

Eine Vielzahl von Selektionen zum Ausschluß negativer Variablenwerte (z.B. beim knappheitsdeterminierten Preisbestandteil) oder zur Auswahl der anzuwendenden politischen Aktivitäten (z.B. Auferlegung von 'floor rates' oder 'ceiling rates' für Investitionsausgaben) unterscheiden zusätzlich das Computermodell vom theoretischen Modell.

Als weitere Besonderheiten sind die 'nominellen' Kapazitätsgrenzen zu nennen, an denen das eine Verhaltenskonzept (kostendeterminierte Angebotspreisbildung) in diskontinuierlicher Weise in ein anderes Konzept (knappheitsorientierte Preisbildung) umschlägt.

Und schließlich kommt die große Zahl von Verzögerungsstrukturen, zum Teil in kombinierten, realistischen Formen (Reifungsphase und Lebensdauer von Kapitalgütern) als markante Systemeigenschaft hinzu.

All diese Strukturmerkmale brauchten, sofern sie vereinzelt und in weniger komplexen Zusammenhängen auftraten, den Rahmen eines theoretischen, analytisch lösbaren Modells noch nicht unbedingt zu sprengen. In ihrer Häufung und Verstrickung in die vielgestaltigen Prozesse eines komplexen Modells erlauben sie nur den Lösungsweg der Computersimulation.

Die nichtlinearen Beziehungen bereiten für die Computerlösung insofern keine Schwierigkeiten, als sie durch stückweise lineare Approximationen substituiert werden, die das geschilderte periodisch - rekursive Lösungsverfahren ermöglichen.

Irreversibilitäten, Diskontinuitäten und Selektionen werden mit dem Digitalcomputer in einheitlicher Weise behandelt, nämlich mittels der elementaren Computeroperation des Vergleichs von - anfänglich eingegebenen oder sukzessive errechneten - Zahlenwerten. Das Ergebnis des nach jedem Intervallschritt wiederholten, maschinenintern vorgenommenen Vergleichs sagt aus, welche besondere Situation jeweils vorliegt. Aufgrund der besonderen Situation entscheidet der Computer gemäß dem programmierten Entscheidungskalkül; zum Beispiel, daß die Lohnsatzänderung gleich Null gesetzt wird, wenn ein aufgrund der Situation negativer Wert errechnet wurde; daß die Angebotspreisbildung kostendeterminiert erfolgt, sofern die ausgelastete Kapazität in einem Zeitpunkt nicht größer als die 'nominelle' Kapazität ist; daß eine Investitionsobergrenze in Kraft tritt, falls der Vergleich der tatsächlichen mit der gerade noch tolerierten Inflationsrate in einem Zeitpunkt die Überschreitung anzeigt und zusätzlich dem Computer vor dem Run durch den Selektionsparameter $CINF = 1$ mitgeteilt wurde, daß Investitionsbeschneidungen zur Inflationsdämpfung anzuwenden sind.

Damit vollzieht der Computer das Entscheidungsverhalten eines Politikers auf einfachste Weise nach: Er beobachtet (berechnet) in kurzen Intervallen die tatsächliche Situation, vergleicht diese mit der gewünschten Situation und entscheidet - je nach Ergebnis des Vergleichs - über die zu startende Aktion.

6.3 Auswertungen von Ergebnisreihen

6.31 Alternative Entwicklungspläne

Die erste Serie von Experimenten bezieht sich auf die Frage, welchen Einfluß die zeitliche und sektorale Streuung von staatlichen Investitionsplänen zur Entwicklungsförderung auf die wesentlichen Systemvariablen ausübt.

Die alternativen staatlichen Pläne, die zu diesem Zweck getestet werden sollen, haben die Form exogener Investitionszeitreihen für jeden Sektor, die sich über den gesamten zu untersuchenden Entwicklungszeitraum, der hier 15 Jahre umfaßt, erstrecken. ¹⁾

Abbildung 7 ²⁾ veranschaulicht die exogenen Plan-Alternativen graphisch.

1) Streng genommen müßten diese exogenen Zeitreihen in den kurzen zeitlichen Abständen des Berechnungsintervalls vorgegeben werden. Das läßt sich jedoch leichter handhaben, indem man die Vorgabewerte auf wesentlich größere Intervalle beschränkt, für die der (vorprogrammierte) DYNAMO-Compiler selbsttätig die erforderlichen Zwischenwerte linear interpoliert.

2) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Mass. 1963, Fig. 4.1, p. 40.

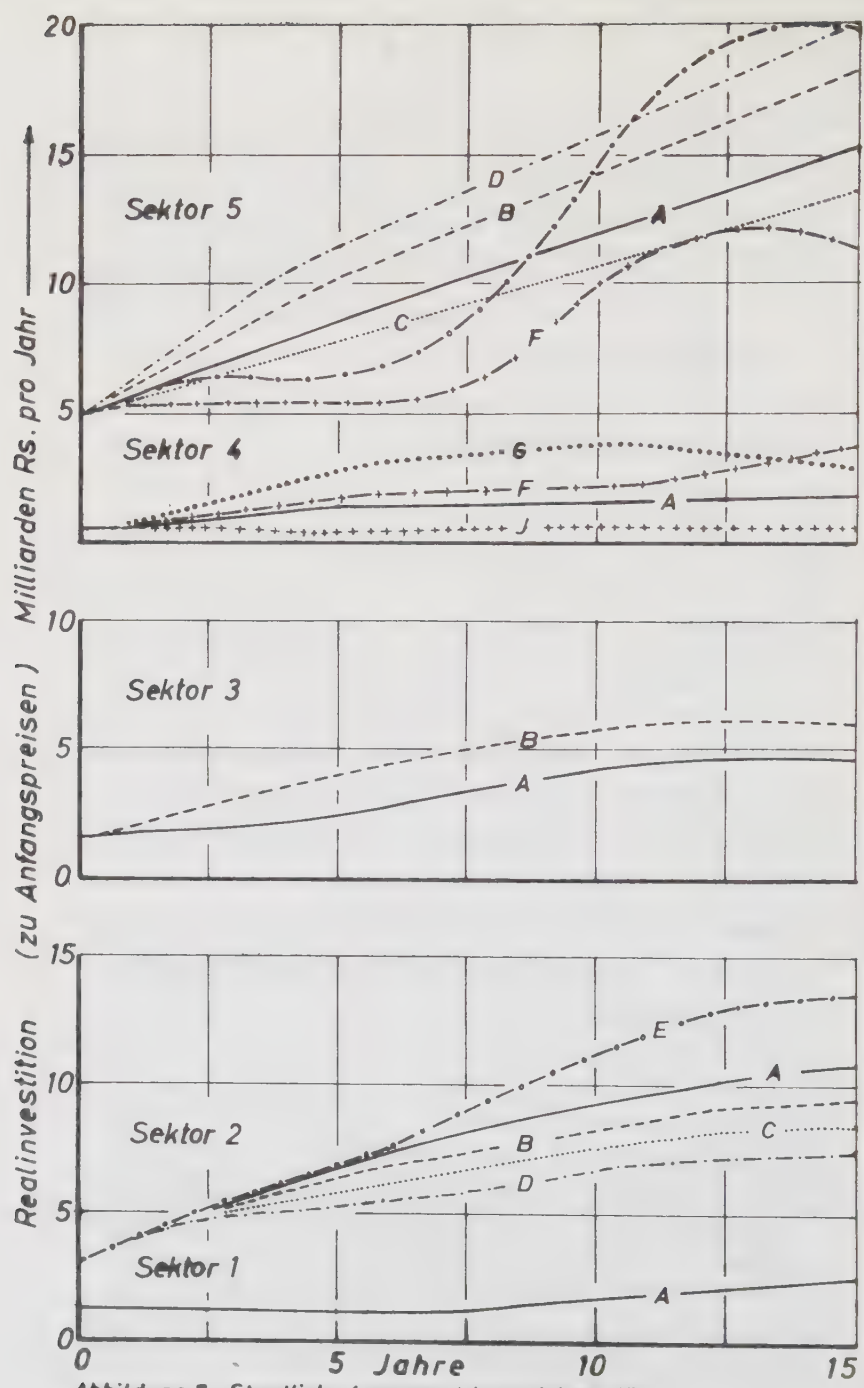


Abbildung 7: Staatliche (exogene) Investitionspläne

Die sektoralen Pläne sind durch Großbuchstaben symbolisiert, von denen A jeweils den durchschnittlich intensiven Plan für einen Sektor anzeigt. Daß die meisten Alternativen für die Sektoren 2, 4 und 5 vorgesehen sind, erklärt sich mit der direkten staatlichen Einflußnahme (durch eigene Investitionstätigkeit oder induzierte private Aktivität) auf diese Sektoren, während für die industriellen Sektoren 1 und 3 lediglich 'floor rates' - eine für Sektor 1, zwei alternative für Sektor 3 (s. Abb.7) - programmiert sind, die normalerweise gar nicht in Aktion treten müssen, weil sie durch profitorientierte private 'Startraten' überschrieben werden.

Eine Plankombination von ACAFB besagt nun, daß auf Sektor 1 Plan A, auf Sektor 2 Plan C,.... auf Sektor 5 schließlich Plan B angewendet wird. Jedem Computerdurchlauf, im folgenden durch eine Run-Nummer gekennzeichnet, liegt eine spezifische Plankombination zugrunde.

6.311 Erläuterungen zur Auswertungstechnik

Abbildung 8 ¹⁾ stellt nun in graphischer Form die Ergebnisse von 25 alternativen Plankombinationen, also die Resultate von 25 Runs, unter mehreren Gesichtspunkten zusammen.

Die waagerechte Achse, an der die alternativen Wachstumswerte, die mit unterschiedlichem Plankombinationen erzielt werden können, abgetragen sind, gilt für alle drei übereinanderliegenden Diagramme gemeinsam, so daß sich die Graphen durch die drei vertikal abgetragenen Kriterien

1) Vgl. ebenda, Fig. 4.4 p. 48

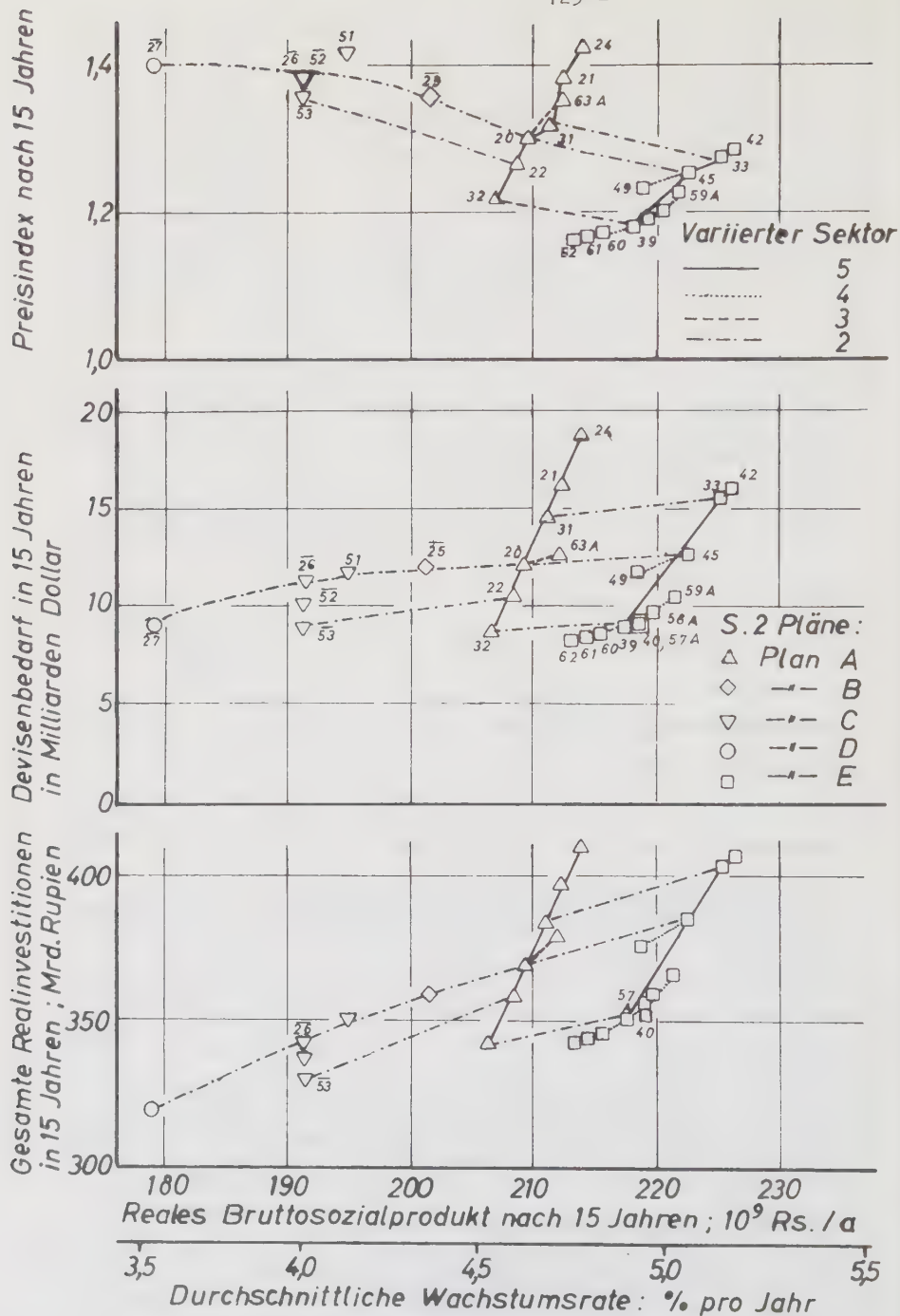


Abbildung 8 : Wirkungen von Planvariationen auf Systemvariable

unterscheiden. Aus diesem Grunde wiederholen sich die den Plankombinationen zugeordneten Run-Nummern in allen 3 Graphen; sie liegen wegen der gemeinsamen Abszisse genau übereinander und brauchten deshalb nur einmal, im mittleren Schaubild, ausdrücklich genannt zu werden.

Jede Plankombination wird somit vierdimensional, nämlich durch die Werte von 4 signifikanten Systemvariablen, charakterisiert: erzielt Realprodukt (absolut und in durchschnittlichen jährlichen Wachstumsprozentsen) nach 15 Jahren, kumulierte Bruttorealinvestition aller Sektoren über 15 Jahre, benötigte Devisenmenge im gleichen Zeitraum und schließlich den erreichten Stand des Konsumgüterpreisindex am Ende der 15-Jahres-Periode.¹⁾ Es handelt sich dabei um einen summierten Wert für jede Variable, nicht etwa um Zeitreihen.

Folglich enthält das Koordinatensystem dreimal 25 Punkteintragungen, die den 25 zugrundeliegenden Runs entsprechen. Diese Punkte sind nun durch - in der rechten unteren Ecke des oberen Schaubildes erklärte - Linienzüge verbunden. So bedeutet die Strich-Punkt-Struktur zwischen zwei oder mehreren durch Run-Nummern gekennzeichneten Punkten, daß sich diese Runs nur durch eine Planveränderung im Sektor 2 (Landwirtschaft) - bei Kon-

1) Im Anhang zu dieser Arbeit sind die Zahlenwerte zusammengestellt, die den Schaubildern von Abbildung 8 zugrundeliegen. Sie sind ein Auszug aus: Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., Table 4.1, pp. 42. Von den vierstelligen Run-Nummern im Anhang wurden in Abbildung 8 nur die letzten beiden Ziffern übernommen.

stanz aller übrigen Sektorpläne sowie Konstanz aller sonstigen Systembedingungen - unterscheiden.

Ein Strich über der Run-Nummer weist außerdem auf die Einbeziehung von staatlichen Antiinflationsmaßnahmen hin, die - wie in Abschnitt 5.31 (S. 77 ff.) beschrieben - durch die Auferlegung von Investitionsobergrenzen wirksam werden, sobald der Konsumgüterpreisindex das jährliche Wachstumslimit (hier 3 %) überschreitet.

6.312 Interpretation der Resultate

Bei Betrachtung der Schaubilder (Abb. 8) fällt auf, daß die Durchläufe, in denen Antiinflationsaktionen wirksam wurden (die überstrichenen Runs 25, 26, 27, 52 und 53), sich allesamt im linken Bereich der Graphen befinden. Zudem symbolisiert die Linienstruktur, insbesondere zwischen den Run-Punkten 25, 26 und 27, Planvariationen im Sektor 2 (Landwirtschaft). Ein Blick in die Tabelle (s. Anhang) bestätigt einen Übergang vom Sektor-2-Plan B (Run 25), über Plan C (Run 26) zu Plan D (Run 27), ein Übergang, der sich anhand der zeichnerisch dargestellten Pläne (s. Abb. 7) als sukzessive Rückstufung der Investitionen im Sektor 2 zu erkennen gibt.

Planreduktionen im Sektor 2 erhöhen den inflationären Druck, wie aus dem oberen Graph zu ersehen ist. Das wiederum löst Antiinflationsmaßnahmen aus, die zu einem erzwungenen Rückgang der Investitionen in den technisierten Sektoren führen und damit auch das Wachstum des Bruttosozialpro-

duktes hemmen. Daß der deutliche Investitions- und Wachstumsrückgang (s. unterer Graph) nicht nur der direkten Planreduktion im Sektor 2 selbst zuzumessen ist, sondern vor allem durch die indirekte Wirkung der Investitionsrestriktionen in der Industrie ausgelöst wird, läßt sich durch einen Vergleich der Durchläufe 51, 26 und 52 erhärten. Sie unterscheiden sich - bei vollkommen identischen Plänen - nur dadurch, daß für Run 51 keine Antiinflationsmaßnahmen, für Run 26 Maßnahmen in den Sektoren 1 und 3, für Run 52 restriktive Maßnahmen in den Sektoren 1, 3 und 5 programmiert sind. Das untere Bild zeigt deutliche Investitionsrückgänge mit zunehmender Härte der Maßnahmen. Folglich erreichen die Antiinflationsmaßnahmen zwar das angestrebte Ziel einer Preissenkung (Vergleich der 3 letztgenannten Runs im oberen Bild), jedoch auf Kosten eines erheblichen Rückganges von Investitionen und Wachstum (unteres Bild).

Die Ausdehnung der Antiinflationsaktionen auf den Sektor 5 ('social overhead services') verstärkt den Investitionsrückgang bei allerdings unverändertem Wachstum (Vergleich der Punkte 26 und 52 im unteren Bild), führt andererseits zu einer Einsparung an Devisen infolge verringerter Kapitalgüterimporte (Punkte 26 und 52 im mittleren Bild).

6.313 Schlußfolgerungen

Im Rahmen der untersuchten Planvariationen lassen Richtung und Anstieg der Verbindungslinien im dreigeteilten Schaubild 8 folgende allgemeine Interpretation der Ergebnisse

zu: 1)

a) in Wachstumstermini:

Verstärkte staatliche Investitionstätigkeit verzeichnet die größte Wirkung auf das reale Sozialprodukt, wenn sie im Sektor 2 vorgenommen wird; die Wirkung verringert sich bei Investitionen im Sektor 4 und fällt bei Sektor-5-Investitionen am schwächsten aus.

b) in Termini des Devisenbedarfs:

Eine bestimmte Zunahme des Realproduktes kann bereits mit geringem Devisenaufwand durch Investitionen in den Sektoren 2 oder 3, mit größeren Devisenaufwendungen durch Sektor-4-Investitionen und nur mit sehr großem Devisenbedarf pro Wachstumsprozent durch Investitionen im Sektor 5 realisiert werden.

c) in Inflationstermini:

Durch staatliche Investitionspläne im Sektor 2 hervorgerufenen Wachstum dämpft gleichzeitig die Inflation, während Realeinkommenswachstum aufgrund von Sektor-4-Investitionen leichten inflationären Druck, dasselbe Wachstum aufgrund von Investitionen in den Sektoren 3 oder 5 sogar starken inflationären Druck erzeugt.

Für den Wirtschaftspolitiker ergäbe sich daraus die praktische Folgerung, in einem Wirtschaftssystem wie diesem

1) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., pp. 49.

nahezu alle staatlichen Investitionen auf **den** Sektor 2 (Landwirtschaft) zu konzentrieren und überhaupt keine Investitionen im Sektor 5 (public overhead services) zu tätigen.

6.314 Offene Fragen

Die Einseitigkeit der soeben gezogenen Schlußfolgerung läßt Zweifel an ihrer Berechtigung aufkommen, denn selten gibt es in der Realität wirtschaftspolitische Aktionen, die sich so eindeutig vorteilhaft (Sektor-2-Investitionen) oder so eindeutig nachteilig (Sektor-5-Investitionen) im Sinne der Zielrealisierung auf **den** Wirtschaftsablauf auswirken. Im Regelfalle können Entscheidungen auf der Grundlage von wissenschaftlichen Analysen erst nach einem Abwägen (und das heißt Bewerten nach einem Maßstab) von Vor- und Nachteilen getroffen werden.

Der praktischen Anwendung der obigen Folgerung sollte deshalb eine Überprüfung der Modellannahmen, insbesondere der Sektor-2 und Sektor-5-Strukturen vorausgehen.

In der Tat erweist sich bei Sektor 2 die völlig unelastische Angebotsformulierung als kritischer Punkt. Daß die Landwirtschaftskapazität, determiniert durch das Ausmaß an **urbar** gemachtem und mit Bewässerungsanlagen versorgtem Land, nicht zum absoluten Engpaß des Systems wird, liegt an der sich flexibel anpassenden Preisbildung, die jedoch - bei geringer Sektorkapazität - die Inflation begünstigt und dadurch restriktive staatliche

Aktionen mit ihren wachstumshemmenden Effekten auslöst.¹⁾ Eine weniger starre Angebotsformulierung würde Investitionen und damit Kapazitätserweiterungen in der Landwirtschaft nicht so eindeutig positiv von Investitionen in anderen Sektoren abheben. Wegen ihrer entscheidenden Rolle wären also eine empirische Prüfung und im Zweifelsfalle Computer-Durchläufe mit alternativen Angebotsstrukturen wichtig.

Wesentlich komplizierter ist Sektor 5 ('public overhead services') strukturiert. Eine - verglichen mit der Landwirtschaft - hohe 'capital-output-ratio'²⁾ bewirkt bei gleichem Investitionsvolumen eine geringere Wachstumsrate. Der hohe Kapitalanteil des Produktes erfordert außerdem zusätzliche Kapitalgüterimporte (Devisenbedarf), während gleichzeitig die Kapitalknappheit die Inflationstendenz verstärkt.

Aber nicht nur die Industrie, auch die Haushalte fragen die Leistungen des Sektors 5 nach, sogar - nach der Input-Output-Tabelle - den größeren Anteil. Da der Sektor so unterschiedliche Aktivitäten wie Energieversorgung, Verkehrswesen, Nachrichtenverbindungen und Wohnungsbau umschließt, impliziert diese Aggregation auch die totale Substituierbarkeit dieser Leistungen, also etwa den Tausch

1) Vgl. ebenda, S. 51.

2) Da die realen 'capital-output-ratios' definitorisch gleich 1 gesetzt wurden (s.S. 99f), ist hier von monetären 'capital-output-ratios' die Rede.

von Strombedarf gegen Wohnungsnutzung, eine gewiß unrealistische Annahme.

Realistischer wäre folglich eine Aufteilung dieser unterschiedlichen Leistungen, die teils ausschließlich von Haushalten, teils ausschließlich von Produzenten nachgefragt werden, auf mehrere getrennte Sektoren. Parallel dazu müßte auch das Problem der Elastizität zwischen konsumtiver und produktiver Nutzung ein und derselben Leistung, z.B. des Transprotangebots, neu formuliert werden.

Das sind nur einige der Strukturprobleme, ¹⁾ die vor einer praktischen Anwendung der Ergebnisse empirisch überprüft und gegebenenfalls alternativ formuliert werden müßten, um die Reagibilität der Resultate auf Abweichungen in der einen oder anderen Richtung testen zu können.

6.32 Lohnpolitische Studien

6.321 Variation des Lohnreaktionskoeffizienten

Eine weitere - und zugleich letzte im Rahmen dieser Arbeit vorgestellte ²⁾ - Testserie, die sich auf das komplexe Wachstumsmodell der indischen Wirtschaft bezieht, ordnet sich in den Kreis der 'parametrischen' Studien ein.

Dazu wird ein für die Systemdynamik eminent wichtiger Parameter herausgegriffen, den man als Reaktionskoeffi-

1) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., pp. 52.

2) Vgl. ebenda, pp. 61.

zienten der Löhne auf Profite ('wage response coefficient') in den industriellen Sektoren bezeichnen kann.

Die zugrundeliegende, in Abschnitt 6.23 (S.105) erwähnte Strukturgleichung lautet:

$$\frac{d(W_i)}{dt} = \left(\frac{WC_i}{WD_i} \right) \left(\frac{PIAV_i}{LPQAI_i} \right) + \left(\frac{1}{MD_i} \right) (W_j - W_i)$$

mit $j = 3$, wenn $i = 1$ und vice versa,

- wobei: W_i = Lohnsatz (Rupien pro Arbeitseinheit),
 $PIAV_i$ = Durchschnittliche Nettoprofitrate des Sektors (Rupien pro Quantum),
 $LPQAI_i$ = Labour-output-ratio der durchschnittlich effizienten Betriebseinheit (Arbeitseinheiten pro Quantum),
 MD_i = Zeitkonstante, die (reziprok) die Geschwindigkeit der Lohnangleichung zwischen den Industriesektoren und damit die intersektorale Mobilität definiert (Jahre),
 WD_i = Zeitkonstante, die die Verzögerung in der Lohnreaktion auf Profitänderungen anzeigt (Jahre),
 WC_i = Proportionalitätskonstante, die den Intensitätsgrad zwischen Profit- und Lohnänderungen ausdrückt(ohne Dimension).

Gegenstand der Analyse ist also der Koeffizient WC_i . Zur Rechtfertigung für das Studium dieses Parameters kann das mangelhafte empirische Wissen über jegliche Reaktions- oder Anpassungskoeffizienten, aber auch - in diesem Zusammenhang noch interessanter - die lohnpolitische Problematik, die diesem Parameter innewohnt, vorgebracht werden. Diese politische Interpretation läuft auf die Frage hinaus, ob

eine Gewerkschaft - die Bedingungen dieses Systems vorausgesetzt - gut daran tut, eine starke Reaktion (schnelle Anpassung) der Industrielöhne auf (an) gestiegene Unternehmensgewinne durchzusetzen.

Um die reinen Effekte der Parametervariation sichtbar zu machen, wird jeweils mehreren Runs mit alternativen WC_1 -Werten ein und dieselbe Kombination staatlicher Entwicklungspläne zugrundegelegt. Einigen dieser Versuchsreihen wird eine weitere Run-Variante angehängt, in der die obige Strukturgleichung ganz ignoriert und durch eine Beziehung ersetzt wird, die den Lohnsatz (exponentiell leicht verzögert) dem Preisindex für Konsumgüter gleichsetzt (anpaßt). ¹⁾

6.322 Globale Ergebnisse

Die Ergebnisse der Experimente veranschaulicht Abbildung 9²⁾ In der unteren Region des Schaubildes sind die Unterschiede im Endstand sowohl des industriellen Lohnsatzindex als auch des Konsumgüterpreisindex nach Ablauf des 15-Jahres-Zeitraumes für alternative Parameterwerte festgehalten. So verbindet die linke, steil fallende Linie Lohnsatzindex, wenn der fragliche Koeffizient nacheinander die Wer-

1) Die Reaktion des Lohnsatzes auf Preise unterscheidet sich nicht so wesentlich von der Reaktion des Lohnsatzes auf Profitraten, wie es zunächst scheinen mag, ist doch eine Profitänderung auch Ausdruck einer Änderung des Verkaufspreises.

2) Vgl. Holland, E.P. with Gillespie, R.W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", a.a.O., Fig. 5.4, p. 63.

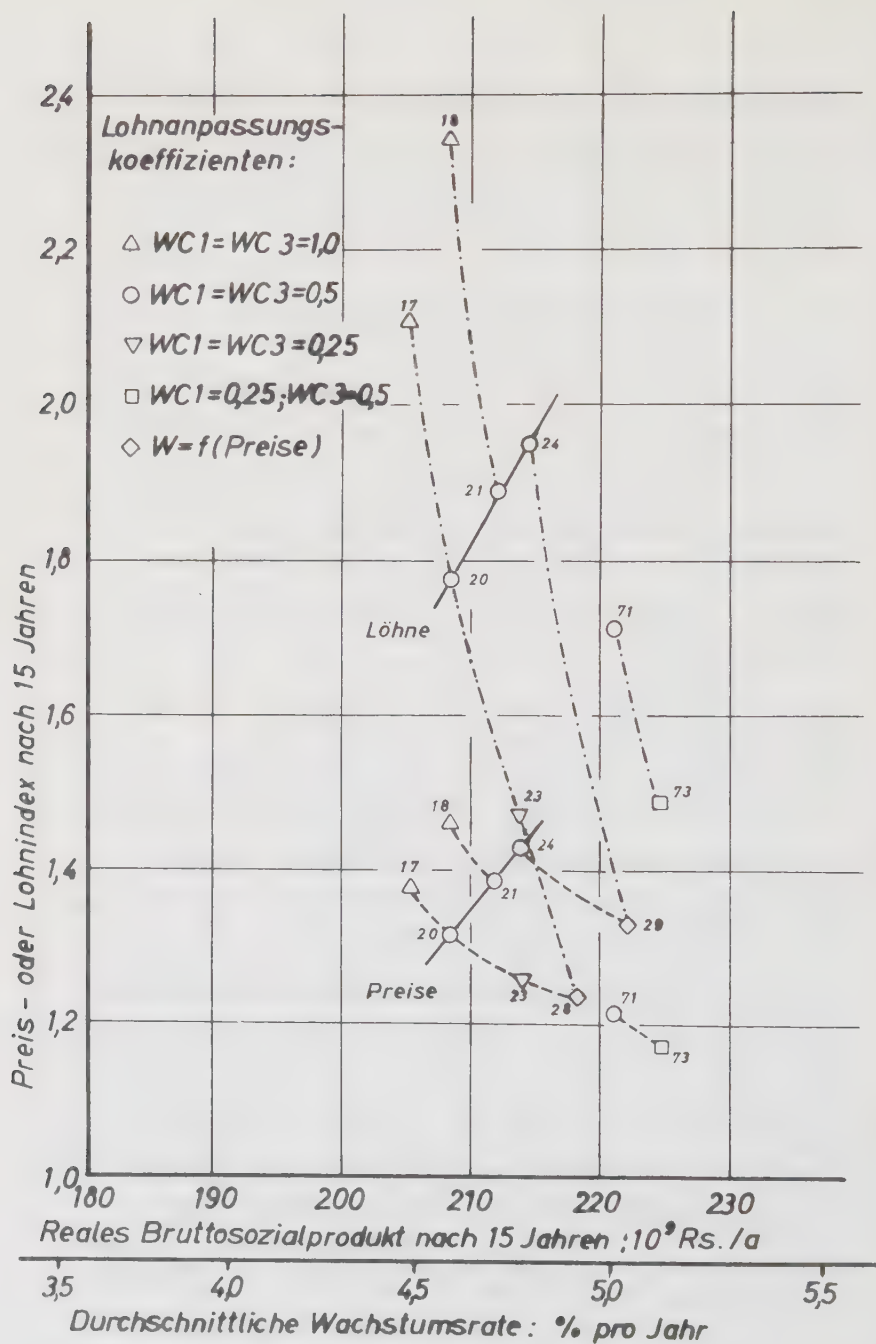


Abbildung 9 : Wirkung auf Lohn- und Preisindex

te 1 (Run 17), 0,5 (Run 20) und 0,25 (Run 23) annimmt und schließlich die Strukturgleichung durch die (leicht verzögerte) Lohnsatz - Preis - Identität (Run 28) substituiert wird. Wesentlich flacher verläuft die dieser Reihe entsprechende Verbindungslinie der Preisindices, die im gleichen Punkt wie die Lohnindexreihe endet (aufgrund der Lohnsatz-Preis-Identität in Run 28). Die übrigen, zu den besprochenen nahezu parallelen Linien, bringen den gleichen Sachverhalt, nur für intensivere staatliche Entwicklungspläne, zum Ausdruck.

Der erhebliche Anstiegsunterschied zwischen Lohn- und Preislinien in Abbildung 9 deutet unmittelbar darauf hin, daß eine Senkung des Lohnreaktionskoeffizienten WC_i zwar den Inflationsgrad signifikant reduziert, aber bei weitem nicht hinreichend, um eine Herabsetzung des Reallohnsatzes zu verhindern.

Abbildung 10 ¹⁾ erweitert nun diese Ergebnisinterpretation, um eine weitere Dimension. Danach führt die Beschränkung von Lohnerhöhungen, ausgedrückt durch einen niedrigeren Reaktionskoeffizienten, zu einem höheren Investitions- und Wachstumsniveau. Das geht aus dem positiven Anstieg der Linien hervor, die die Endresultate von Runs mit identischen Entwicklungsplänen, aber sukzessive fallenden Lohnanpassungskoeffizienten verbinden.

1) Vgl. ebenda, Fig. 5.3, p. 62. Abbildung 10 gibt einen Ausschnitt aus Fig. 5.3 wieder.

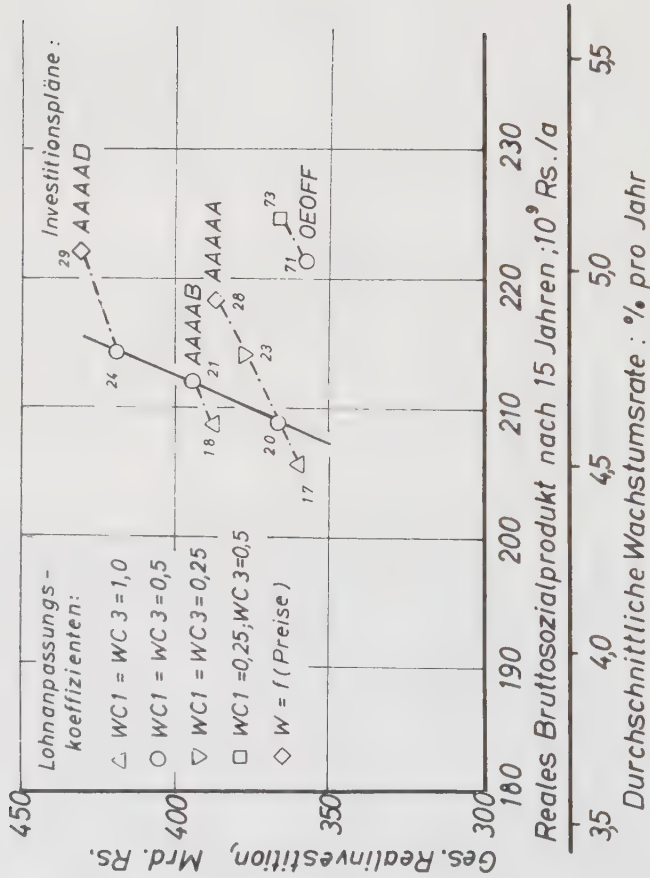


Abbildung 10: Wirkung auf Realinvestitionen

Wiederum erweist sich - wie schon in Abbildung 9 - die Substitution der Lohnsatzanpassungsgleichung durch die (verzögerte) Lohnsatz-Preis-Identität als gleichbedeutend mit einer weiteren Senkung des Reaktionskoeffizienten, denn der entsprechende Run reiht sich jeweils bruchlos in die Verbindungslinie ein.

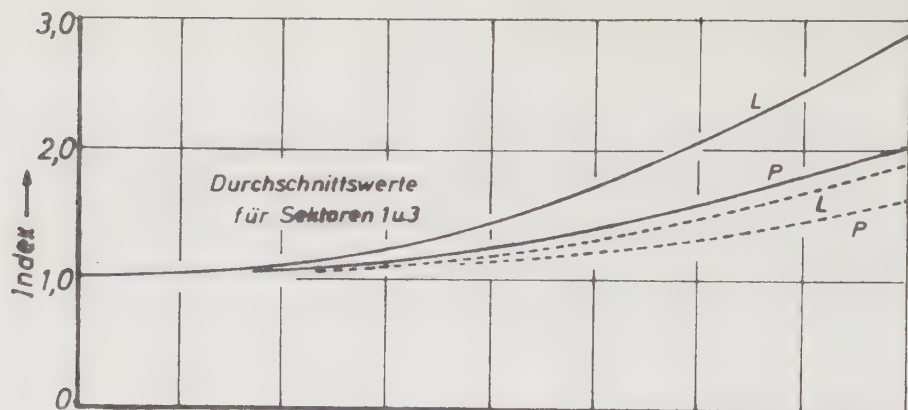
Das bisherige Ergebnis läßt sich so zusammenfassen, daß ein höherer Reaktionskoeffizient einerseits den Reallohnsatz erhöht, andererseits das Wachstum des Outputs und damit offenbar auch der Beschäftigung verringert.

6.323 Zeitreihenresultate

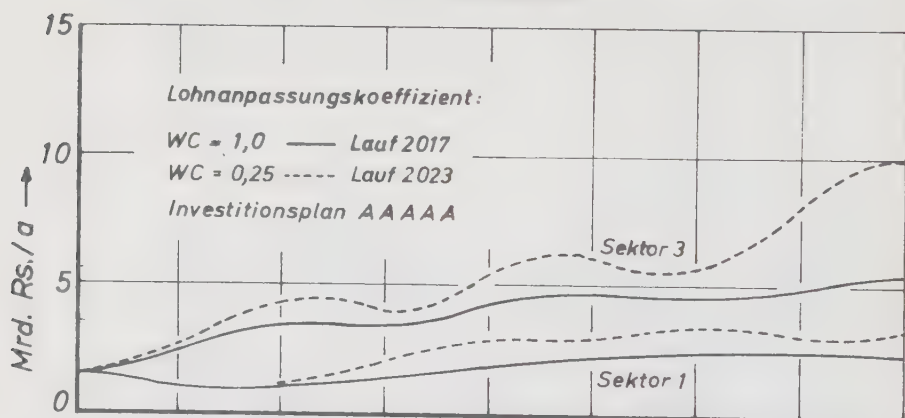
Um diese Zusammenhänge noch weiter zu vertiefen, deckt Abbildung 11 ¹⁾ für zwei Runs mit relativ extremen Werten der Lohnreaktionsparameter, nämlich von 1 (Run 17) und 0,25 (Run 23), die Zeitreihen auf, die sich hinter den 'zusammengeschmolzenen' Punkten in den Abbildungen 9 und 10 verbergen.

Der obere Teil von Abbildung 11 belegt, daß Löhne wie auch Preise im Run mit höherem Reaktionskoeffizienten (durchgezogene Zeitpfade) durchweg schneller steigen als im Run mit niedrigem Koeffizienten (gestrichelte Zeitpfade). Da zudem das Verhältnis Lohnsatz zu Preis im Falle des höheren Koeffizienten über den gesamten Zeitraum größer ist als beim niedrigen Koeffizienten, muß es sich zwangsläufig

1) Vgl. ebenda, Fig. 5.6, p. 67.



a.) Lohn- und Preisindizes



b.) Realinvestition

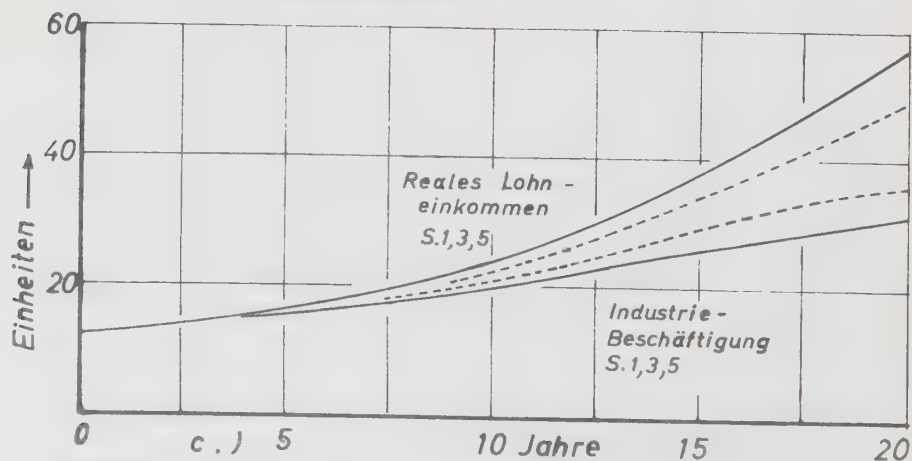


Abbildung 11: Zeitreihen zur Lohndynamik

bei der Profitmarge genau umgekehrt verhalten.

Das bestätigt der mittlere Teil von Abbildung 11 indirekt, da das (in den Sektoren 1 und 3 profitdeterminierte) Investitionsniveau im Run mit schwächerer Lohnreaktion durchweg höher liegt.

Die zunehmend oszillatorische Entwicklung der Investitionen im Falle der schwachen Lohnreaktionen, deutlich erkennbar für Sektor 3, erklärt sich aus dem starken Investitionsimpuls, der von den relativ hohen Profiten ausgeht. Auf dieses Problem einer zu intensiven Anpassungsreaktion in einem Feedback-System war auf Seite 85 eingegangen worden. Hier tritt das Problem besonders kraß in Erscheinung aufgrund der starren Periodenverzögerung (gestation time) zwischen 'Startrate' von Kapitalprojekten und effektiver Kapazitätserweiterung, die eine geschmeidige Anpassung an neue 'Orientierungsdaten' zusätzlich erschwert. Dadurch hält die ohnehin intensive Reaktion der Investoren auch dann noch an, wenn der Keim zum Ungleichgewicht (Über- oder Unterkapazität) bereits gelegt ist, sich jedoch erst später auswirkt und deshalb zu spät wahrgenommen wird: ¹⁾ Ob und wie dieser Instabilität systemimmanent entgegengewirkt wird oder welche politischen Aktionen dafür in Frage kämen, müßte anhand der Zeitreihen weiterer Variabler und durch zusätzliche Runs erforscht

1) Genau dieses Problem erklärt in sehr vereinfachter Form das Cobwebtheorem: Expandierende Oszillationen entstehen, wenn das langfristige Angebot starr verzögert ist (Perioden-Lag), aber im Vergleich zur Nachfrage elastischer auf Preisänderungen reagiert.

werden, soll aber hier nicht weiter verfolgt werden.

6.324 Lohnpolitische Problematik

Der untere Teil von Abbildung 11 enthält eine unter lohnpolitischen Gesichtspunkten besonders relevante Auswertung.

Bereits die globalen Kriterien der Figuren 9 und 10 deuten für den Fall des schwachen Lohnreaktionskoeffizienten auf einen langsameren Anstieg von Nominal- wie Reallohnsatz bei gleichzeitig stärkerem Outputwachstum hin. Die Zeitreihen zeigen diesen Trend in Form generell niedrigerer Reallohne bei einem durchweg höheren Beschäftigungsniveau noch deutlicher. Anders gesehen: Bei einer schwachen Reaktion der Löhne auf die Profite finden mehr Menschen Beschäftigung, müssen sich aber in eine insgesamt kleinere Reallohnsumme teilen.

Ist nun der Reaktionskoeffizient 'Aktionsparameter' der Gewerkschaften, steht die Organisation vor der Frage, ob es besser ist, höhere Reallohne auszuhandeln, wohl wissend, daß sie einer kleineren Gruppe von Beschäftigten zugute kommen, oder ob sie besser die Lohnanpassung an die Profite weniger intensiv verfährt, um eine größere Zahl von Arbeitsplätzen sicherzustellen, wenngleich dadurch der Gesamtreallohn und erst recht der Reallohn pro Kopf gegenüber der ersten Politik sinken. ¹⁾

1) Vgl. ebenda, pp. 67.

Resümierende Schlußbetrachtung

In einem abschließenden Resümee sollen Simulationsstudien als Methode zur wissenschaftlichen Fundierung wirtschaftspolitischer Entscheidungen einer kritischen Würdigung unterzogen werden, um neben dem Potential auch die Probleme und Grenzen der Methode noch einmal zu verdeutlichen.

Die umfassende, detaillierte Repräsentation eines Wirtschaftssystems im Computermodell erlaubt die wirklichkeitsnahe Nachbildung von Entscheidungssituationen, wie sie der wirtschaftspolitische Praktiker antrifft.

Während in analytischen Modellen wichtige Bereiche des Wirtschaftssystems entweder nicht explizit einbezogen oder ihr Einfluß durch die ceteris-paribus-Bedingung ausgeschaltet wird, nimmt das Computermodell alle für die Fragestellung relevanten Wirkungszusammenhänge explizit auf. Analytisch separat behandelte Gebiete wie Nachfrage determinierung bei substituierbaren und komplementären Konsumgütern, Input-Output-Verflechtungen, Einkommens- und Kapazitätswirkung von Investitionen, Einfluß von Bevölkerungswachstum und technischem Fortschritt, Außenhandel, eingebaute Stabilisatoren, Fiskalpolitik, Geld und Kreditpolitik usw. erscheinen gemeinsam in einem Modell. So werden die vielgestaltigen Interdependenzen zwischen diesen Bereichen über einen relativ langen Zeitraum berücksichtigt, wenn die Erfolgswirksamkeit sowie die erwünschten und unerwünschten Nebenwirkungen staatlicher Aktivitäten quantifiziert und beurteilt werden sollen.

Diese Komplexität der Betrachtung ermöglicht eine differenzierte Darstellung der wirtschaftspolitischen Aktivitäten. Das Interesse des Experimentators gilt nicht einzelnen Zweck-Mittel-Beziehungen, sondern der alternativen Gestaltung von Ziel-Mittel-Systemen unter variierten plausiblen Bedingungskonstellationen, also der Erprobung von Programmen. Die Ergebnisse der Programmanwendungen generiert der Computer vieldimensional, was in der Vielzahl resultierender Variablenzeitreihen zum Ausdruck kommt, die neben den kurzfristigen auch die langfristigen Wirkungen, wie sie nach elastischer Systemanpassung eintreten (z.B. Bumerangeffekte), sichtbar machen.

Es hieße aber die Methode der Computersimulation überfordern, erwartete man für alternative Programme genaue Zeitreihenvorhersagen über den gesamten Programmzeitraum. Vielmehr vermitteln die alternativen Zeitreihenergebnisse Erkenntnisse darüber, welche spezifischen Streuungen langfristiger Strukturmaßnahmen in zeitlicher, räumlicher, sektoraler oder sonstiger Hinsicht eine relativ hohe Zielrealisierung unter Beachtung der gesetzten Nebenbedingungen versprechen; bei wieviel Zielabweichung ablaufpolitische Eingriffe am zweckmäßigsten vorzunehmen und wie sie bezüglich Häufigkeit und Stärke der Anwendung zu dosieren sind, um die in der Rangordnung hoch (wenngleich nicht am höchsten) stehenden Ziele des gleichgewichtigen Wachstums, wie immer es definiert sein mag, hohe Beschäftigung, Preisstabilität und außenwirtschaftliches Gleichgewicht auf lange Sicht zu gewährleisten.

Der Akzent in der Beurteilung der Programme sollte deshalb darauf liegen, inwieweit zyklische Prozesse, vor allem solche mit kurzer Periode und großer Amplitude, ausgeglichen und systemimmanente Gleichgewichtstendenzen unterstützt werden, inwieweit die Programme - innerhalb einer gewissen Bandbreite von Bedingungen - zur langfristigen Systemstabilisierung beitragen. So gesehen spezifizieren die generierten Zeitreihen keine zukünftigen Systemzustände, sondern gewähren primär Einblick in die dynamischen Systemcharakteristika bei Anwendung alternativer Programme.

Ist man sich dieser Grenzen bewußt, können Computereperimente die Lücke zwischen verfügbarem analytischen Instrumentarium und den Anforderungen praktischer Wirtschaftspolitik zu einem guten Teil schließen. Simulationsstudien ersetzen nicht die theoretisch-analytische Forschung, sondern ergänzen sie. Einerseits bildet die Theorie das Fundament der Modellkonstruktion. Da der Vielfalt an nicht-linearen Strukturelementen im Computermodell kaum Grenzen gesetzt sind, liegt hier ein weites, noch unbestelltes Feld für empirisch untermauerte Theorien, denn ein solcher Vorrat würde die Konstruktion realistischer Verhaltensbeziehungen, in denen nicht einfach lineare oder linearisierte Zusammenhänge zwischen den relevanten Variablen unterstellt werden, erheblich erleichtern. Andererseits können Simulationsstudien wesentliche Anregungen für die Entwicklung von Theorien geben.

Simulationen können schließlich eine oft vorhandene, psychisch begründete Barriere zwischen Modellanalytiker und Praktiker abtragen helfen. Bei der praktisch bedeutsameren Digitalsimulation ermöglicht die problemorientierte Sprache dem politischen Entscheidungsträger, an der computergerechten Modellformulierung, insbesondere an der Formulierung der relevanten Entscheidungssituationen, in Teamarbeit mitzuwirken. Auch die experimentelle Manipulation des Modells erfordert weder Programmierungs- noch mathematische Vorkenntnisse. Darüber hinaus fallen die generierten Resultate in einer unmittelbaren und anschaulichen Form an; graphische und tabellarische Zeitreihen sind für den mathematisch weniger versierten Politiker leichter verständlich als algebraische Lösungsterme oder die deduktive Ableitung von Optima.

Computersimulationen können somit zum Laboratorium des Wirtschaftspolitikers werden. Die größten Widerstände gegen diese simulierte Form des Experimentierens dürften von der Kostenseite zu erwarten sein. Modellkonstruktion wie Experimentation erfordern erheblichen personellen und materiellen Aufwand. Dem steht auf der 'Aktivseite' die große Flexibilität des einmal entwickelten und technisch realisierten Modells gegenüber, die viele Abwandlungen für immer wieder andere Problemstellungen erlaubt.

Run	Investitions- plan	Reales BSP	Konsum Preis- Index	Monet. BSP	Totale Real- Invest.	Gesamter Devisen- Verbrauch
2020	AAAAA	209	1,30	278	369	12,0
2021	AAAAB	212	1,38	299	398	15,8
2022	AAAAC	208	1,26	268	355	10,4
2024	AAAAD	214	1,43	313	416	18,4
2025	ABAAA	201	1,35	274	357	11,5
2026	ACAAA	191	1,38	267	341	11,1
2027	ADAAA	179	1,40	253	317	9,2
2031	AAAAE	211	1,31	284	385	14,8
2032	AAAAF	206	1,22	256	336	8,6
2033	AAAAE	224	1,27	294	402	15,4
2039	AEAAF	218	1,18	265	352	9,1
2040	AEACF	219	1,19	267	354	9,2
2042	AEACE	225	1,28	297	404	15,5
2045	AEANK	222	1,26	289	386	12,6
2049	AEAMK	219	1,24	281	378	12,1
2051	ACAAA	194	1,41	274	350	11,3
2052	ACAAA	191	1,38	266	335	9,9
2053	ACAAC	191	1,36	261	328	9,1
2057A	AEAFF	219	1,19	269	357	9,3
2058A	AEAFF	220	1,20	272	360	9,6
2059A	AEACF	221	1,23	280	370	10,2
2060	AEAHF	216	1,17	261	346	8,7
2061	EAEIF	215	1,17	259	344	8,6
2062	EAJF	214	1,16	257	342	8,4
2063A	AABAA	212	1,35	293	382	12,1

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- Allen, R.G.D., "Macro-Economic Theory", Reprinted First Edition, London etc./New York 1968.
- Allen, R.G.D., "Mathematical Economics", Reprinted Second Edition, London etc./New York 1966.
- Baumol, William J., "Economic Dynamics", 2. Aufl., New York 1959.
- Bentzel, R. and Hansen, B. "On Recursiveness and Interdependence in Economic Models" in: Review of Economic Studies", Vol. 22, Heft 3, 1955.
- Chapin, Ned, "Einführung in die elektronische Datenverarbeitung", Wien/München 1963.
- Chorafas, Dimitris, N., "Systems and Simulation", New York 1965.
- Cohen, Kalman J., "Computer Models of the Shoe, Leather, Hide Sequence", Englewood Cliffs, N.J., 1960.
- Cohen, K.J. and Cyert, R.M., "Computer Models in Dynamic Economics" in: Quarterly Journal of Economics, Vol. 75, February 1961.
- Duesenberry, James S., Eckstein, Otto, and Fromm, Gary, "A Simulation of the United States Economy in Recession" in: Econometrica, Vol. 28, No. 4, October 1960.
- Forrester, Jay W., "Industrial Dynamics", Fourth Printing, Cambridge, Mass., 1965.
- Geyer, Herbert und Oppelt Winfried, Hrsg., "Volkswirtschaftliche Regelungsvorgänge", München 1957.

- Giersch, Herbert, "Allgemeine Wirtschaftspolitik", Wiesbaden 1961.
- Holland, Edward P., "Analog Simulation of an Economy Beginning to Develop", in: *Econometrica*, Vol. 26, 1958.
- Holland, Edward, P., with Gillespie, Robert W., "Experiments on a Simulated Underdeveloped Economy", Cambridge, Mass., 1963.
- Holland, Edward P., Tencer, Benjamin and Gillespie, Robert W., "A Model for Simulating Dynamic Problems of Economic Development"(working paper), Cambridge, Mass., 1960.
- Morgenstern, Oskar, "Experiment und Berechnung großen Umfangs in der Wirtschaftswissenschaft", *Weltwirtschaftliches Archiv*, Bd. 76, Heft 2, 1956.
- Morgenstern, Oskar, "Über die Genauigkeit wirtschaftlicher Beobachtungen", 2. Aufl., Wien/Würzburg 1965.
- Orcutt, Guy H., Greenberger, Martin, Korbel, John, and Rivlin, Alice M., "Microanalysis of Socioeconomic Systems: A Simulation Study", New York 1961.
- Phillips, A.W., "Stabilisation Policy in a Closed Economy" in: *The Economic Journal*, Vol. 64, 1954.
- Phillips, A.W., "Stabilisation Policy and the Time-Forms of Lagged Responses" in: *The Economic Journal*, Vol. 67, 1957.
- Pugh, Alexander, L. (III), "DYNAMO User's Manual", Second Edition, Cambridge, Mass. 1963.

- Rechenberg, Peter, "Grundzüge digitaler Rechenautomaten",
München/Wien 1964.
- Rostow, Walt W., "Stadien wirtschaftlichen Wachstums",
2. Aufl., Göttingen 1967.
- Tinbergen, Jan, "Wirtschaftspolitik", Freiburg 1968.
- Tinbergen, Jan, "On the Theory of Economic Policy",
Amsterdam 1952.
- Tustin, Arnold, "The Mechanism of Economic Systems",
London 1953.
- Wiener, Norbert, "Kybernetik", 2. rev. u. erg. Aufl.,
Düsseldorf/Wien 1963.
- Yance, Joseph V., "A Model of Price Flexibility", in:
American Economic Review, Vol. 50, 1960.
- "Simulation: A Symposium", in: American Economic Review,
Vol. 50, No. 5, 1960.

L e b e n s l a u f

Name: Jürgen Schinnerling

Geburtstag und -ort: 7.12.1938 in Zwickau/Sachsen

Staatsangehörigkeit: deutsch

Name der Eltern: Curt Schinnerling und Ehefrau Lieselotte geb. Lohmann

Beruf des Vaters: Textilkaufmann (Unternehmer)

Schulbesuch: 1944 - 1952 Volksschule in Rodewisch
1952 - 1956 Oberschule in Auerbach/Vogtland mit Abiturabschluß

Studium: 1956 - 1959 (5 Semester) Arbeitsökonomik an der Karl-Marx-Universität in Leipzig
1959 - 1963 (9 Semester) Volkswirtschaft an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster
1963 Examen als Diplom-Volkswirt

Berufspraxis: 1963 - 1969 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Organisationsberatung und Systemanalyse beim Mathematischen Beratungs- und Programmierungsdienst/Rechenzentrum Rhein-Ruhr in Dortmund
1969 - 1972 Nebentätigkeit (neben Promotion) als Dozent betriebswirtschaftlicher Fächer an verschiedenen berufsfortbildenden Schulen

